

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS DE LOS PUENTES PEATONALES
EN LA LOCALIDAD DE USAQUÉN**

**BRAYAN SEBASTIÁN PULIDO MORENO
CÓDIGO 505057
LUIS ÁNGEL RICO LEÓN
CÓDIGO 505154**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ
2018**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS DE LOS PUENTES PEATONALES
EN LA LOCALIDAD DE USAQUÉN**

**BRAYAN SEBASTIÁN PULIDO MORENO
CÓDIGO 505057
LUIS ÁNGEL RICO LEÓN
CÓDIGO 505154**

**Trabajo para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director De Proyecto
Marisol Nemocón Ruiz
Ingeniera Civil Especialista en Estructuras**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ
2018**



Atribución 2.5 Colombia (CC BY 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución 2.5 Colombia (CC BY 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/co/>

Usted es libre de:

Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

hacer un uso comercial de esta obra



Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

Bogotá, mayo, 2018

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. GENERALIDADES	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1 Descripción del problema	17
1.2.2 Formulación del problema	18
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 Objetivo general	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
1.4 JUSTIFICACIÓN	19
1.5 DELIMITACIÓN	19
1.5.1 Espacio	19
1.5.2 Tiempo	19
1.5.3 Contenido	19
1.5.4 Alcance	20
1.6 MARCO DE REFERENCIA	20
1.6.1 Marco Teórico	20
1.6.1.1 Puentes	20
1.6.1.2 Tipos de Puentes	20
1.6.1.3 Inspección de Puentes	21
1.6.1.4 Daños en puentes de concreto	23
1.6.1.5 Daños en Puentes Metálicos	26
1.6.2 Marco conceptual	28
1.6.2.1 Patologías constructivas	28
1.6.2.2 Manual de Inspección	29
1.6.2.3 Superestructura	29
1.6.2.4 Componentes de Concreto	30
1.6.2.5 Componentes de Madera	30
1.6.2.6 Componentes de Acero	30
1.6.2.7 Apoyos	30
1.6.3 Marco legal	31
1.6.4 Estado del Arte	31
1.7 METODOLOGÍA	33
1.7.1 Tipo de investigación	33
1.7.2 Fuentes de información	33
1.7.2.1 Fuentes Primarias	33
1.7.2.2 Fuentes Secundarias	33
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	33
1.8.1 Etapa 1. Revisión documental	33
1.8.2 Etapa 2. Planeación y realización de inspecciones visuales	34

1.8.3 Etapa 3. Procesamiento y análisis de información	34
1.8.4 Etapa 4. Estrategias de mejoramiento	34
2. CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS DE PUENTES PEATONALES PARA EL DISEÑO DE FICHAS DE INSPECCIÓN	35
2.1 OBJETIVO	35
2.2 CARACTERISTICAS DE LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL PUENTE	35
2.3 INSPECCION Y EVALUACIÓN POR ELEMENTOS	38
2.3.1 Superficie del puente y accesos	38
2.3.2 Juntas de expansión	38
2.3.3 Andenes y Bordillos	39
2.3.4 Barandas	39
2.3.5 Iluminación	39
2.3.6 Señalización	40
2.3.7 Drenajes	40
2.4 INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN SUBESTRUCTURA	41
2.4.1 Apoyos	42
2.4.2 Aletas y Estribos	42
2.4.3 Pilas	43
2.4.4 Losa, vigas	44
2.4.5 Elementos de Arco	44
2.4.6 Cables, Pendolones y Torres	45
2.4.7 Perfiles metálicos	45
2.4.8 Armadura	46
2.4.9 Conexiones	46
2.5 INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE OTROS ELEMENTOS DE LOS PUENTES	47
2.5.1 Acceso peatonal	47
2.5.2 Cauce	48
2.5.3 Puente en General	48
3. REALIZACIÓN DE INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE PUENTES PEATONALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
3.1 REALIZACIÓN DE LA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN	50
3.2 SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN	50
3.3 RESULTADOS OBTENIDOS	50
3.3.1 Ubicación y Tipo de Estructuras	50
3.3.2 Daños por Tipos de Patologías	51
3.3.2.1 Principales patologías mecánicas presentes en los puentes inspeccionados	54
3.3.2.2 Principales patologías físicas presentes en los puentes inspeccionados	55
3.3.2.3 Principales patologías químicas presentes en los puentes inspeccionados	56
3.3.3 Distribución de daños por elementos de los puentes	57

3.3.4 Ausencia de elementos en los puentes	58
3.3.5 Elemento del puente con mayor número de patologías	59
3.3.6 Identificación de puentes con mayor número de patologías	60
3.4 ANÁLISIS GENERAL DE RESULTADOS	61
4. SUGERENCIA PARA ACCIONES DE INTERVENCIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES EN LOS PUENTES PEATONALES OBJETO DE ESTUDIO	63
5. CONCLUSIONES	65
6. RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	68
ANEXOS	71

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Patologías en Puentes de Concreto	23
Figura 2. Tipos de puentes según estructuración transversal o longitudinal	36
Figura 3. Inspección y Evaluación de Puentes Según Elementos de Superficie y Equipamientos	38
Figura 4. Elementos de las Juntas	38
Figura 5. Tipos de Juntas	39
Figura 6. Inspección y Evaluación de Puentes Según Elementos Subestructura	42
Figura 7. Tipos de Daños superestructuras tipo arco	45
Figura 8. Ubicación de los Puentes Peatonales	50
Figura 9. Puentes Peatonales según su Estructura	51
Figura 10. Porcentajes de Daños por Tipos de Patología	51
Figura 11. Descripción Patologías Mecánicas	52
Figura 12. Descripción Patologías Químicas y Biológicas	52
Figura 13. Descripción Patologías Físicas	52
Figura 14. Cuantificación de los Daños Según sus Patologías	53
Figura 15. Principales Patologías Mecánicas	54
Figura 16. Principales patologías físicas	55
Figura 17. Principales patologías químicas	56
Figura 18. Categorización de Daños Totales por Elementos que Componen los puentes	58
Figura 19. Porcentaje de Ausencia de elementos en la Estructura	58
Figura 20. Distribución de Patologías en Accesos Peatonales	59
Figura 21. Puentes con mayor número de patologías	60

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Patologías por diseño	24
Cuadro 2. Patologías de puentes por su construcción	25
Cuadro 3. Patologías de puentes por su funcionamiento	26
Cuadro 4. Patologías de puentes metálicos por daños de perfiles metálicos, torres y miembros de armaduras	27
Cuadro 5. Patologías de puentes metálicos por daños en las conexiones	28
Cuadro 6. Localización del Puente	35
Cuadro 7. Tipos de Puente según estructuración transversal o longitudinal	36
Cuadro 8. Identificación de la Estructura del Puente	37
Cuadro 9. Estructura de la Ficha Sección Inspección por Elementos de Superficie y Equipamientos	40
Cuadro 10. Estructura de la Ficha Sección Inspección por Elementos de Superestructura General	43
Cuadro 11. Estructura de la Ficha Sección Inspección por Elementos de Superestructura en Concreto	44
Cuadro 12. Estructura de la Ficha Sección Inspección por Elementos de Superestructura Metálica	47
Cuadro 13. Inspección y Evaluación de Otros Elementos de los Puentes	48
Cuadro 14. Categorización de Daños Totales por Elementos que Componen los puentes	57

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Formato Ficha de Inspección y Evaluación de Puentes Peatonales	71
Anexo B. Ficha Técnicas de Inspección y Evaluación de Puentes Peatonales	72
Anexo C. Patologías Mecánicas	73
Anexo D. Patologías Físicas	74
Anexo E. Patologías Químicas	75
Anexo F. Ausencia de elementos	76

SIGLAS

AE	Agentes externos
AS	Asentamiento
AUA	Ausencia de anclajes
AUE	Ausencia de elementos
AUP	Ausencia de pintura
AUS	Ausencia del sello
CAR	Carbonatación
COL	Corrosión leve
COM	Corrosión Media
COP	Corrosión en pasamanos
COA	Corrosión armadura
COS	Corrosión Severa
CTC	Contaminación del concreto
DGG	Desgaste
DPG	Desportillamiento
DT	Deterioro en pintura
EF	Eflorescencias
EXA	Exposición del acero
FIC	Fisuras por cortante
FIF	Fisuras por flexión
FIG	Fisuramiento
FIR	Fisuración por retracción
FRP	Fracturamiento de postes
GIV	Golpes por impacto vehicular
HO	Hormigueros
IL	Ilegibilidad
IMP	Fallas por impacto
IN	Infiltración
IVN	Invisibilidad
JF	Construcción inadecuada de juntas frías.
OB	Obstrucción del sello
PD	Perfiles defectuosos
PI	Pintura deteriorada

PS	Perfiles sueltos
RE	Recubrimiento
RU	Ruptura del sello
SE	Segregación
VI	Vibración Excesiva
VO	Volcamiento
AGT	Agrietamiento
ASD	Ausencia de drenaje
AUSS	Ausencia de señalización
CN	Cambio normatividad
DCC	Descascaramiento
FSL	Fisuras longitudinales
RS	Retiro de señal

INTRODUCCIÓN

Los puentes peatonales son estructuras construidas con el fin de permitir el paso de las personas por zonas de difícil acceso y en forma segura, éstos son contruidos de diferentes materiales, bien sea en acero, en concreto o en madera, sin embargo, y como cualquier estructura constructiva que está expuesta no sólo a factores ambientales, sino al uso constante, empiezan a presentar deterioros y fallas, conocidas como patologías, que afectan su estado físico y su condición de funcionamiento, generando inseguridad para quienes hacen uso de éstos, motivo por el cual los puentes peatonales requieren ser sometidos a constante inspecciones, con las cuales se permita evaluar su estado físico y así determinar si requiere algún tipo de intervención.

Es por lo anterior que se quiere realizar la presente investigación la cual pretende realizar la evaluación del estado de los puentes peatonales de la localidad de Usaqué, mediante inspecciones visuales siguiendo lo estipulado en el Manual para la Inspección Visual de puentes y pontones, para hacer la debida caracterización de las diferentes patologías que presentan estos puentes, determinando los tipos de fallas y/o deterioros, para luego presentar una serie de recomendaciones para su mejoramiento.

Para realizar lo indicado, se llevó a cabo una revisión documental que permitió identificar los tipos de puentes y los respectivos aspectos a evaluar.

Luego se procedió a hacer la debida planeación y realización de las inspecciones a los puentes, información que se recopiló en las fichas técnicas diseñados por los autores, de acuerdo con lo establecido en el Manual para la Inspección Visual, para facilitar la recolección de datos.

Finalmente se procesaron y analizaron los datos obtenidos y se presentan algunas estrategias de mejoramiento según el tipo de patologías encontradas y su nivel de gravedad.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad, gran parte del desarrollo cotidiano de las ciudades parte de las diferentes estructuras públicas que facilitan entre otras actividades, el desplazamiento de las personas, una de estas estructuras son los puentes peatonales, creados para que éstas puedan atravesar avenidas, calles, flujos de agua, entre otros, de forma segura, éstas estructuras como cualquiera, requiere procesos constructivos eficientes, seguros y durables, sin embargo, y como cualquier construcción, se presentan desgastes, deterioros o daños por el mismo uso que se le dan, es por tanto que se requiere de una constante revisión y mantenimiento, al respecto el Ministerio de Transporte de Perú, en su “guía para la inspección de puentes”, afirma que “la condición de los puentes varía considerablemente; generalmente sufren daños por falta de un mantenimiento adecuado, más que por su antigüedad. Algunas de las estructuras presentan un estado crítico con respecto a su estabilidad estructural y capacidad de carga”¹.

Al respecto, investigadores de la Universidad Católica Editora, en su investigación titulada “Condition Assessment of Bridges: Past, Present and Future. A Complementary Approach”², afirman que el mantenimiento de estructuras de puentes, es todo un desafío, más aún cuando éstos se encuentran en condiciones de servicio, adicionalmente, por la gran variedad de sistemas estructurales, que en la actualidad van desde puentes de concreto reforzado o pretensado, así como puentes compuestos, de acero, atirantados, suspendidos y puentes de arcos de mampostería, hace que cada uno de estos tipos de estructuras se comporte de manera diferente, sufriendo diferentes tipos de deterioro y por tanto, generan diferentes necesidades de mantenimiento.

Por lo anterior, las inspecciones visuales se convierten en una de las mejores alternativas para evaluar las condiciones de los puentes, pues como se señala en el artículo “Load capacity assessment of bridges”³, las inspecciones de ingeniería se pueden usar para obtener información sobre las estructuras existentes, y así determinar si una estructura se ajusta a un estándar particular, o si sus capacidades reales, son iguales a las que se estimaron en los diseños. Así mismo, el artículo titulado “Condition Assessment of Reinforced Concrete Bridges

¹ PERÚ. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES REPÚBLICA DEL PERÚ. Guía para inspección de puentes. Lima: Dirección General De Caminos Y Ferrocarriles, 2006. p. 3

² MOLDOVAN, Ionut; FIGUEIREDO, Elói y BARATA MARQUES, Manuel. Condition Assessment of Bridges: Past, Present and Future. A Complementary Approach. Lisboa: Universidade Católica Editora, 2013. p.2

³ SONNENBERG, Andrew. Load capacity assessment of bridges [en línea]. Launceston:Small Bridges Conference [citado 22 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://www.pittsh.com.au/cms_uploads/docs/load-capacity-assessment-of-bridges.pdf>

by Combined Nondestructive Test Techniques”⁴ (Evaluación de condiciones de puentes de hormigón armado mediante técnicas combinadas de ensayos no destructivos), se afirma que las inspecciones visuales son una de las partes más importantes de un sistema de gestión de puentes, éstas se realizan mediante métodos de evaluación no destructiva, que se pueden usar como herramienta de verificación de las condiciones estructurales de los puentes. En este documento analiza las inspecciones visuales de 200 puentes de hormigón armado en Turquía y las aplicaciones de pruebas no destructivas realizadas en 10 puentes, que fueron los más deficientes. La resistencia a la penetración, la velocidad del pulso ultrasónico, la ubicación de barras de refuerzo y las pruebas de corrosión de refuerzo se realizaron en cubiertas, muelles y vigas de puentes de hormigón armado y los resultados se comparan con los resultados de las inspecciones visuales.

De igual manera, el artículo “Bridge evaluation through nondestructive testing in comparison with visual inspection” (Evaluación de puentes mediante pruebas no destructivas en comparación con la inspección visual”⁵, presenta un método de prueba no destructivo para evaluar la condición de puentes en comparación con la inspección visual que se usa constantemente; en éste, se manifiesta que si bien las clasificaciones de condición son todas de carácter cualitativo y se definen principalmente como conjuntos de indicadores visuales en la inspección de rutina, las pruebas no destructivas son más cuantitativas y tienen un gran potencial para determinar los daños dentro de la estructura que no son visibles. Para lo cual se realiza el estudio, que tuvo como objetivo determinar la resistencia del puente a través de pruebas no destructivas y así establecer la correlación entre la calificación de inspección visual y los resultados de estas pruebas, mediante un sistema de clasificación inteligente que combine tanto los datos de prueba no destructivos como la calificación de inspección visual, generando resultados más eficientes y detallados.

De acuerdo con lo anterior, la inspección visual y evaluación de los puentes, para el caso de la presente investigación, los puentes peatonales, es una labor de gran relevancia y que requiere de procesos minuciosos y metódicos, así como también lo muestra el trabajo realizado por estudiantes de la Universidad de Cartagena en 2014, titulada “Evaluación, Diagnóstico y Propuesta De Intervención Para La Patología Del Puente Román Ubicado En El Barrio Manga”⁶, en el cual se pudo realizar un plano y mapa de daños, mediante la inspección visual las patologías

⁴ MASOUMI, F.; AKGÜL, F. y MEHRABZADEH, A. Condition Assessment of Reinforced Concrete Bridges by Combined Nondestructive Test Techniques. En: IACSIT International Journal of Engineering and Technology. December, 2013. vol. 5, no. 6, p. 708

⁵ ADNAN, Azlan; ALIH, Sophia and MIRASA, Karim. Bridge evaluation through nondestructive testing in comparison with visual inspection. In: 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference, 5-6 September 2006, p. 42

⁶ BUSTAMANTE PEÑA, CARLOS Andrés y GONZÁLEZ MORALES, David Andrés. Evaluación, Diagnóstico Y Propuesta De Intervención Para La Patología Del Puente Román Ubicado En El Barrio Manga. Cartagena: Universidad de Cartagena. Facultad de Ingenierías. Modalidad trabajo de grado, 2014.

presentes en cada uno de los elementos del puente, además de mediciones y ensayos no destructivos de tipo químico (fenolftaleína) y de tipo mecánico (Esclerómetro) en la estructura y un levantamiento topográfico, para de esta manera dar inicio al proceso de reparación, rehabilitación y mantenimiento de la estructura.

Así mismo, estudiantes de la Universidad Católica de Colombia, realizaron una investigación de título “Evaluación E Identificación De Fallas Estructurales En Puentes Peatonales En Concreto Armado, Detectando Las Posibles Causas Y Proponiendo Acciones Correctivas, En La Localidad De Fontibón”⁷, en éste, se realizó la evaluación e identificación de las patologías encontradas en los puentes peatonales de concreto armado en la localidad de Fontibón en Bogotá D.C., mediante la inspección visual, identificando las lesiones químicas, físicas y mecánicas y realizando pruebas de fenolftaleína “in situ”, información con la cual, se diagnosticaron las causas por las cuales se produjeron las patologías encontradas.

Como se puede observar, el interés por indagar sobre el estado de los puentes peatonales, y la forma para mantenerlos en buenas condiciones para su uso, no sólo es un tema de relevancia en el país, a nivel internacional también se observan investigaciones sobre el tema, una de éstas es, por ejemplo, la realizada en España titulada “Metodología para la inspección, evaluación y diagnóstico mediante técnicas no destructivas del estado estructural de puentes de madera en España”⁸, la cual fue realizada teniendo en cuenta que en este país una cantidad considerable de puentes están contruidos en madera y su tiempo de servicio había sobre pasado su vida útil, siendo necesaria una evaluación del estado estructural de los mismos, por tal motivo los investigadores desarrollaron una metodología de inspección, evaluación y diagnóstico del estado de los puentes, mediante la inspección visual, detección de pudriciones mediante el empleo de equipos, estimación de propiedades mecánicas y pruebas de carga estáticas y análisis dinámicos para la determinación de las frecuencias naturales de vibración.

Finalmente, en Eslovaquia, se realizó un estudio titulado “Diagnostics and evaluation of footbridges”⁹, documento mediante el cual se ilustra la importancia de la gestión, el mantenimiento y la reconstrucción de los puentes peatonales, particularmente la importancia de la inspección para el descubrimiento oportuno de imperfecciones y la reducción potencial de condiciones de inseguridad,

⁷ LÓPEZ RODRÍGUEZ, Hernán Alexis y SALAS GONZÁLEZ, David Leonardo. Evaluación e identificación de fallas estructurales en puentes peatonales en concreto armado, detectando las posibles causas y proponiendo acciones correctivas, en la localidad de Fontibón. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2016.

⁸ RODRÍGUEZ, Soledad; VIVAS, Julio; VEGA, Abel y BAÑO, Vanesa. Metodología para la inspección, evaluación y diagnóstico mediante técnicas no destructivas del estado estructural de puentes de madera en España. En: Rehabend. Abril – mayo, 2014. Vol. 1, no, 4, p. 2

⁹ BUJŇÁKA, J.; HLINKAA, R.; ODOBŇÁKA, J. y VIČAN, J. Diagnostics and evaluation of footbridges. En: Procedia Engineering. Enero – marzo, 2012. no. 40, p. 56

mencionando que es importante identificar problemas menores que puedan corregirse antes de que se conviertan en grandes y costosas reparaciones, reconociendo los componentes estructurales que requieran reparaciones.

Lo anterior permite entender, que la realización de evaluaciones de patologías en puentes peatonales, es una labor que se puede llevar a cabo de manera relativamente fácil y eficiente, sin necesidad de utilizar metodologías complicadas, sino que, a través de inspecciones visuales, con formatos para el registro de información detallados y apoyados con registros fotográficos, se pueden hacer diagnósticos efectivos del estado de los elementos que componen las estructuras de los puentes, pues como lo manifiesta el Federal Highway Administration's NDE Validation Center (Centro de Validación NDE de la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos) ¹⁰, son métodos particularmente útiles para evaluar los puentes en servicio, ya que éstos, pueden permanecer intactos y abiertos al tráfico durante el período de inspección y evaluación

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. Como ya se mencionó, los puentes peatonales son estructuras necesarias para el desplazamiento de las personas, sin embargo, según el tipo de puente, su estructura se comporta de manera particular, sufriendo diferentes tipos de deterioro, debido a factores como volumen de tráfico, pesos máximos de carga, así como la exposición a entornos ambientales agresivos, como por ejemplo, los efectos de los cloruros, ya sea en un entorno marino o de sales de deshielo, reacción de álcali-sílice, carbonatación y protección anticorrosiva, lo que requiere diferentes necesidades de mantenimiento a una mayor frecuencia .

En el caso de los puentes peatonales, razones como materiales oxidados, y sin pintura, falta de barandas, escaleras deterioradas con huecos y láminas sueltas y destruidas, pisos agrietados y desgastados, reparación con diferentes materiales diferentes a los originales, exigen mantenimientos constantes. En este sentido, según la Personería de Bogotá, los puentes peatonales están recibiendo usos inadecuados, entre los que se destacan la proliferación de vendedores ambulantes, parqueaderos de motos y ciclas, e invasión del espacio público; además, incremento de basuras, grafitis y robo permanente de láminas y barandas que ponen en riesgo a usuarios. A esto se suma que el vandalismo y la falta de cultura ciudadana y de control por parte de las autoridades, aumentan el deterioro de las estructuras de los puentes peatonales de la ciudad.

Al respecto, según datos del IDU, en Bogotá existen 410 puentes peatonales, de

¹⁰ BADER, James. Nondestructive Testing and Evaluation of Steel Bridges [en línea]. Maryland: Federal Highway Administration's NDE Validation Center [citado 14 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://cee.umd.edu/~ccfu/ref717/BADER_NDE_of_Steel_Bridges.pdf>

los cuales el 57,80% (237) corresponde a estructuras sobre vías y el 42,20% (173) restante son puentes que se encuentran sobre cuerpos de agua ; de este total, y de acuerdo con representantes del Concejo de Bogotá, 121 puentes se encuentran en regular o malas condiciones, mientras que de los otros 140 no existe información alguna sobre su estado ; siendo la localidad de Usaquén la tercera en la ciudad con más cantidad de puentes en peor estado con 13 de las 37 estructuras de este tipo con las que cuenta, y los puentes restantes en estado regular, por esta razón, se ha seleccionado esta localidad para realizar la investigación, considerándose que, antes de hacer cualquier intervención lo primero que se debe hacer es conocer detalladamente en qué estado se encuentran los puentes, y así ofrecer las medidas de mejoramiento adecuadas, y que garanticen estructuras en óptimo estado que salvaguarden la seguridad de las personas.

A causa del mal estado de los puentes, producto de la baja frecuencia de sus reparaciones, algunos de los peatones sufren accidentes, (Torres, 2017).

Por lo anterior, las entidades públicas encargadas de la administración de estos equipamientos urbanos requieren de un inventario de daños y así, ellos, en concordancia con sus capacidades y recursos generen las posibles soluciones.

Para Resumir, las entidades públicas necesitan un análisis del deterioro en las escalera y rampas de acceso, el estado del concreto, las láminas levantadas, rotas y huecos, entre otros problemas que pueden producir accidentes a los usuarios de los puentes peatonales de la localidad Usaquén, ya que está situado en vías principales y zonas con alta demanda de población debido a los centros médicos, universidades y lugares recreativos.

1.2.2 Formulación del problema. Ahora, la pregunta que se propone resolver con la investigación a realizar será la siguiente: ¿Con la inspección visual se pueden identificar las patologías que mayor afectación generan en los puentes peatonales de la Localidad de Usaquén y así poder establecer la prioridad de intervención de los mismos?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Realizar la caracterización de las patologías mecánicas, físicas y químicas existentes en los puentes peatonales de la localidad de Usaquén de la ciudad de Bogotá, mediante la aplicación del manual de inspección visual de puentes o pontones.

1.3.2 Objetivos específicos.

➤ Identificar características de los puentes peatonales, mediante revisión documental para diseñar formatos para la inspección y evaluación de patologías

de puentes peatonales.

- Realizar las inspecciones visuales de los 37 puentes peatonales existentes en la localidad de Usaquén, haciendo uso de los formatos diseñados y registro fotográfico para facilitar la recopilación de información.
- Procesar y analizar los datos recopilados en las inspecciones visuales, mediante matrices, describiendo las características físicas, químicas y mecánicas que se presentan los puentes peatonales.
- Establecer posibles acciones de intervención para el mejoramiento de las patologías encontradas en los puentes peatonales objeto de estudio.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación, se realiza con el propósito de evaluar las patologías existentes en los puentes peatonales de la localidad de Usaquén mediante inspecciones visuales, para determinar las fallas que éstos presentan; teniendo en cuenta que este tipo de inspecciones permite facilitar el desarrollo de acciones para el mejoramiento de estas estructuras, y con esto garantizar la seguridad de las personas que los usan, pues como se ha establecido, estas estructuras son de gran importancia para el desplazamiento de las personas; lo anterior, teniendo en cuenta que la labor como ingenieros civiles, no solo se centra en el diseño y construcción de infraestructuras, sino en el poder aplicar métodos con los cuales se puedan hacer diagnósticos en pro del mejoramiento de las construcciones que conforman el inventario urbano público de las ciudades.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Espacio. La primera parte de la investigación, es decir la revisión documental y preparación de fichas de inspección se desarrolló en la sede principal de la Universidad Católica de Colombia; la fase de recolección de información primaria se desarrolló en la Localidad de Usaquén haciendo la inspección visual de los puentes peatonales; finalmente, la tercera etapa, análisis de información y preparación de resultados, se desarrolló en la Sede de la Universidad Católica de Colombia.

1.5.2 Tiempo. La realización de la investigación se realizó en un lapso de 3 meses comprendidos entre febrero y abril de 2018.

1.5.3 Contenido. El contenido de la investigación contempla los siguientes ítems principales:

- Generalidades de la investigación
- Preparación del trabajo práctica

- Análisis de resultados
- Conclusiones y recomendaciones finales

1.5.4 Alcance. El alcance de la investigación será presentar el informe y soporte de las inspecciones visuales realizadas a los 37 puentes peatonales de la localidad de Usaquén y sus respectivos análisis de resultados.

1.6 MARCO DE REFERENCIA

1.6.1 Marco Teórico

1.6.1.1 Puentes. De acuerdo con el IDU, los puentes peatonales constituyen la infraestructura necesaria para ofrecer pasos peatonales seguros en vías de la red urbana, donde volúmenes y características operacionales vehiculares no permitan una circulación peatonal bajo condiciones de seguridad. Así mismo, los componentes básicos de los puentes peatonales son los siguientes:

- Los accesos y salidas que conectan el puente peatonal, por medio de escaleras, rampas o ascensores, con el nivel de la plazoleta o andén receptor.
- El enlace en sí mismo, que es el elemento que comunica los accesos y salidas
- Los apoyos¹¹

1.6.1.2 Tipos de Puentes. Las características de los puentes están ligadas a las de los materiales con los que se construyen, lo que condiciona el tipo de puente, como se muestra a continuación:

- Puentes de madera: éstos, aunque son rápidos de construir y de bajo coste, son poco resistentes y duraderos, ya que son muy sensibles a los agentes atmosféricos, como la lluvia y el viento, por lo que requieren un mantenimiento continuado y costoso. Su bajo costo (debido a la abundancia de madera, sobre todo en la antigüedad) y la facilidad para labrar la madera pueden explicar que los primeros puentes contruidos fueran de madera.
- Puentes metálicos: éstos son muy versátiles, permiten diseños de grandes luces, se construyen con rapidez, pero son caros de construir y además están sometidos a la acción corrosiva, tanto de los agentes atmosféricos como de los gases y humos de las fábricas y ciudades, lo que supone un mantenimiento caro.
- Puentes de hormigón armado: son de montaje rápido, ya que admiten en muchas ocasiones elementos prefabricados, son resistentes, permiten superar

¹¹ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU. Cartilla para el puente peatonal prototipo para Bogotá. Bogotá: Alcaldía Mayor, 2009. p. 7

luces mayores que los puentes de piedra, aunque menores que los de hierro, y tienen unos gastos de mantenimiento muy escasos, ya que son muy resistentes a la acción de los agentes atmosféricos¹²

Por otro lado, en lo relacionado con las formas de los puentes, estas son de tres clases, que están relacionadas directamente con el esfuerzo que pueden soportar y sus elementos constructivos, por tanto, estas configuraciones pueden ser puentes de viga, puentes de arco, puentes colgantes.

1.6.1.3 Inspección de Puentes. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, se entiende por inspección “el conjunto de acciones de oficina y campo, desde recopilación de información (historia del puente, expedientes técnicos del proyecto, planos post construcción, inspecciones previas, etc.), hasta la toma de datos en campo, a fin de conocer el estado del puente en un instante dado”¹³. Por otro lado, el IDU expresa que la “inspección de un puente tiene dos objetivos, asegurar el tráfico sin riesgo sobre la estructura, y detectar las deficiencias existentes, recomendando las correspondientes acciones preventivas y correctivas. Así, la primera es inspección de mantenimiento del puente y la otra para seguridad”¹⁴.

Por otro lado, para Bader, la inspección visual de puentes, es la más utilizada, ya que no requiere uso especial de equipos de prueba, y se pueden completar de forma más rápida y económica en comparación con las técnicas de inspección más avanzadas¹⁵. Sin embargo, previo a la inspección visual in situ de la estructura, se hace necesario realizar un estudio inicial del diseño y fabricación del puente, recopilando la documentación sobre el mismo, así como la información sobre mantenimientos y controles previos, si estos se hubieran realizado.

Del mismo modo, la inspección visual de la estructura se centrará en tres aspectos: existencia de medidas de protección preventiva y/o por diseño de los elementos, estado actual de la estructura y existencia de daños de origen abiótico y biótico, y selección de elementos susceptibles a una evaluación mediante técnicas no destructivas¹⁶.

Para el IDU, Las inspecciones que se deben realizar para los Puentes Peatonales deben enfocarse en la cimentación, estructura metálica, tornillería y sistema de recubrimiento y elementos no estructurales y accesorios. Dado que los puentes

¹² LANDAETA, Henry. Generalidades de los puentes [en línea]. Bogotá: Slideshare [citado 18 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://es.slideshare.net/HenryLandaeta/unidad-i-introduccion-y-generalidades-67504365?from_action=save>

¹³ PERÚ. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES REPÚBLICA DEL PERÚ, Op. cit., p. 7

¹⁴ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU. Manual de mantenimiento e inspección rutinarios de los puentes peatonales prototipo. Bogotá: Alcaldía de Bogotá, 2006. p. 5

¹⁵ BADER, Op. cit., p. 4

¹⁶ RODRÍGUEZ; VIVAS; VEGA y BAÑO, Op. Cit., p. 3

peatonales se encuentran en espacio público y con poca restricción de acceso, deben ser considerados eventos nocivos tales como:

- Vandalismo
- Hurto de partes de la estructura
- Golpes
- Ralladuras
- Ataques con fluidos tales como ácidos, pinturas
- Condiciones climáticas

Por tanto, se deben hacer inspecciones visuales determinando el estado actual de los elementos, verificación de los usos, identificación de los tipos o grados de exposición, verificación de las condiciones de servicio actuales con las normativas.

Finalmente, el IDU plantea que se deben considerar los siguientes aspectos durante el desarrollo de las inspecciones visuales a puentes peatonales:

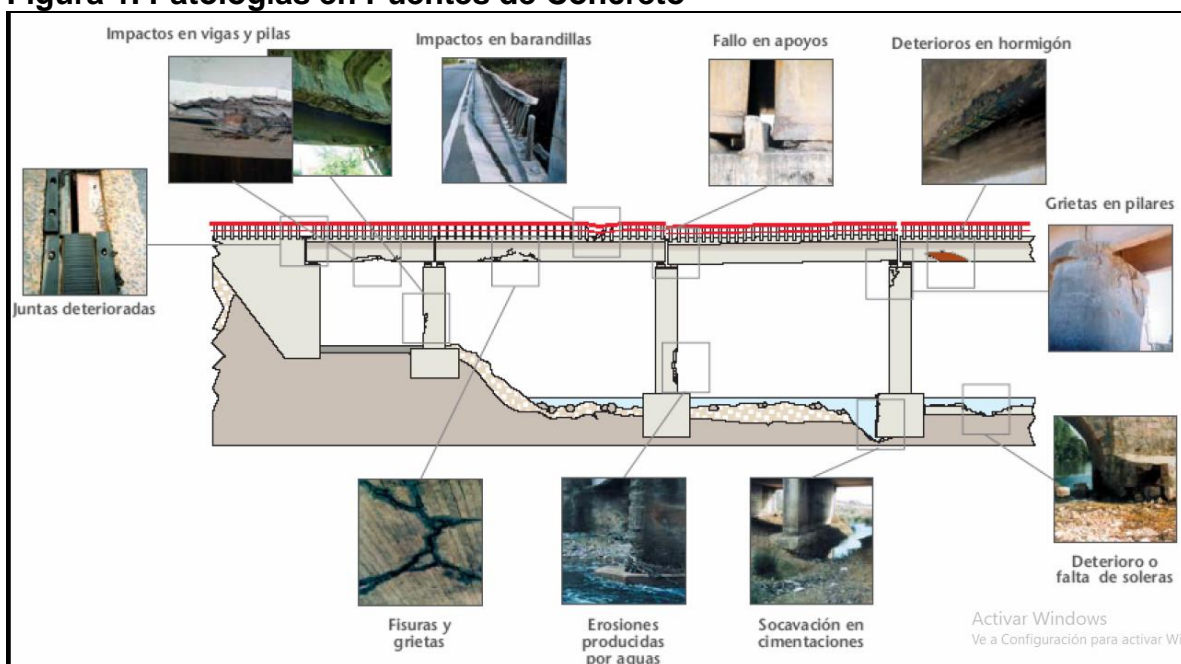
- Cimentaciones. Verificar los niveles finales de construcción contra los niveles de los pedestales en el tiempo con el fin de determinar si existen asentamientos diferenciales o movimientos en los apoyos que puedan incidir sobre el comportamiento de la superestructura de los puentes peatonales.
- Inspección de los elementos y estructuras de acceso: Tales como rampas de concreto, transición de la plazoleta a la escalera, barandas, bordillos y demás elementos constitutivos del puente; determinando para cada uno su estado actual arquitectónico y estructural y definiendo las acciones correctivas inmediatas, a corto y mediano plazo.
- Inspección de la estructura metálica: revisando aspectos como pandeos, abolladuras, elementos faltantes, estado de soldaduras y elementos de conexión, estados de servicio tales como vibraciones y desviaciones estructurales.
- Inspección de los elementos de piso: Tomando en cuenta el sistema de piso que esté instalado se deberán observar aspectos tales como desgaste, doblamientos del mismo, falta de soporte, deflexiones excesivas, pérdida de fijaciones, desajustes o ruido excesivo y demás aspectos que puedan afectar la funcionalidad del puente.
- Inspección de las estructuras de protección de las líneas de alto voltaje: Se deberá revisar el estado de los componentes estructurales y acabados. En los casos en que se tiene listones de madera revisar su condición con respecto a protección, inmunización, deformaciones por defectos de secado.
- Se deberá revisar el estado de la conexión a tierra del puente: Esta debe estar conectada a la estructura, sin presentar cortes o añadiduras que puedan causar el

aislamiento de la misma.¹⁷.

Finalmente, una vez realizadas las inspecciones se establece la prioridad de intervención para mantenimiento del puente y se clasifican de acuerdo a sus necesidades, es decir, si se requiere un mantenimiento rutinario o por el contrario se requiere de un diagnóstico estructural especializado debido a situaciones que se salen del comportamiento normal de las estructuras.

1.6.1.4 Daños en puentes de concreto. Los puentes de concreto, puede presentar daños y/o defectos, que inciden en el deterioro general de los elementos que lo componen y por ende en la durabilidad de la estructura. En este sentido, estudios han encontrado que en Europa, los daños se pueden presentar en las diferentes etapas de la vía útil del puentes, de acuerdo con datos estadísticos “las etapas del proceso constructivo, el 51% de las fallas se presentan en la etapa de ejecución, el 37% en la etapa de concepción y diseño del proyecto, y el 12% durante el uso y mantenimiento”¹⁸.

Figura 1. Patologías en Puentes de Concreto



Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 36

¹⁷ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU. Manual de mantenimiento e inspección rutinarios de los puentes peatonales prototipo, Op. cit., p. 6

¹⁸ CALAVERA, José. Patología de Estructuras de Hormigón Armado y pretensado. Madrid: Instituto Técnico de Materiales y Construcciones INTEMAC, 1996. Tomo I.

➤ **Patologías presentadas por diseño.** Estos daños están relacionados con la concepción y diseño del proyecto, sus causas van desde la ausencia de cálculos, estimación inadecuada de cargas y condiciones de servicio, mal dimensionamiento de los elementos estructurales, ausencia o falta de detalles constructivos y estructurales, inapropiada disposición del acero de refuerzo o por insuficiencia del mismo o uso de especificaciones obsoletas, entre otros.

Entre las patologías más comunes presentadas por diseño se tiene:

Cuadro 1. Patologías por diseño

PATOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Fisuras	es una fractura en la masa de concreto, manifestada en el exterior con un desarrollo lineal. Las causas que originan estas fisuras en el concreto pueden ser debido a un curado deficiente, retracción del concreto, entumecimiento, variaciones térmicas, ataques químicos y debido a problemas en la ejecución del proyecto pueden ser solicitudes excesivas, errores de proyecto, errores de ejecución y asentamientos.
Aplastamiento local (AL).	tienen su origen en la alta concentración de cargas que se presentan en las zonas de apoyo de los elementos simplemente apoyados, o en las zonas de anclaje para el preesfuerzo de torones y cables. Los daños producidos por aplastamiento tienden a fracturar la sección de concreto localizada directamente bajo la carga concentrada.
Asentamientos (AS).	Hace referencia a los movimientos verticales diferenciales, que se pueden presentar en las estructuras cuando no existe un diseño apropiado de la cimentación. El patrón de daño por el asentamiento de las pilas de un puente, generalmente se relaciona con la presencia de fisuras en la parte superior o inferior de las vigas adyacentes, deflexiones y fracturas en los apoyos. Normalmente las fisuras por asentamiento, siguen la dirección vertical o con poca inclinación, de ancho y longitud variable
Volcamiento (VO).	Este proceso puede presentarse directamente en las estructuras por mal dimensionamiento de los elementos, por diseños inadecuados o insuficientes (cimentación – estructura), e indirectamente como consecuencia de la generalización de los daños presentes en la estructura (socavación, asentamientos diferenciales) y como resultado de eventos fortuitos no previstos tales como sismos, deslizamientos y explosiones, entre otros
Vibración Excesiva (VI).	Se refiere al movimiento que se percibe en la estructura debido a sobrecargas, fuerzas no consideradas en el diseño, falta de rigidez, y/o diseños deficientes. El efecto de la vibración excesiva en las estructuras es acumulativo, de ahí su importancia; si no se controla se produce fatiga en los diferentes elementos del puente, hasta ocasionar daños que puedan llevar al colapso.

Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 41

➤ **Daños por construcción.** Estos se originan debido a la utilización de materiales de baja calidad, problemas en la dosificación de los mismos, el transporte, la colocación y el curado. Algunas de las fallas que se presentan en la construcción de puentes y que pueden generar las patologías son “la inadecuada

interpretación de los planos, equivocada localización del refuerzo, deformaciones en la formaleta, falta de control de la formaleta antes y durante el vaciado del concreto, descimbrado inadecuado o anticipado, desplazamiento del acero de refuerzo durante el vaciado, prácticas deficientes en la colocación y compactación del concreto, empleo de concretos con dosificación inadecuada, entre otras”¹⁹.

Algunas de las patologías que se presentan en los puentes por su construcción se tienen:

Cuadro 2. Patologías de puentes por su construcción

PATOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Hormigueros (HO).	Alteración sufrida por el concreto, definida por la presencia de oquedades superficiales que quedan en el concreto endurecido, evidenciando zonas vacías en las caras de los elementos. Los hormigueros son causados generalmente por falta de vibrado, compactación excesiva o deficiente, prácticas inapropiadas en la colocación del concreto en zonas con alta densidad de refuerzo, dosificaciones inadecuadas de mezclas de concreto, etc.
Segregación (SE).	Distribución inadecuada de los componentes de la mezcla, manifestada como la separación éstos con la pasta, propiciando un desplazamiento de los agregados gruesos hacia la parte inferior. La segregación es ocasionada entre otros factores por una dosificación inadecuada, concreto vertido de alturas excesivas, falta o exceso de vibrado, empleo de agregados gruesos sin aparente cohesión, exceso de agregados gruesos o finos, etc.
Fisuración por retracción (FIR).	Ocurre mientras el concreto está en estado fresco, generalmente se presentan en superficies horizontales, con relación superficie libre / volumen mayor a 3.50, entre la primera y las seis primeras horas después fundido, generando fisuras y microfisuras que se extienden rápidamente
Construcción inadecuadas de juntas frías	afectan directamente la durabilidad de la estructura; el diseño inadecuado de juntas o una mala construcción de las mismas permiten el ingreso de agentes agresivos como: sulfatos, cloruros, carbonatos, etc., los cuales atacan directamente al concreto o a las armaduras, reduciendo la vida útil de la estructura. La cuantificación de las juntas frías inadecuadas se realizará por metro lineal, tomando la mayor dimensión del daño que se presente en el elemento.
Recubrimiento inadecuado (RE) y exposición del aceros de refuerzo (EXA)	Las barras de refuerzo deben tener un recubrimiento adecuado de concreto según el ambiente al cual estarán sometidas y el tipo de elemento estructural que formen, cuando éste es inadecuado su disposición final termina afectado la durabilidad o la capacidad portante de la estructura, exponiendo el acero y generando problemas de corrosión.

Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 41

➤ **Daños durante el funcionamiento.** Este tipo de daño se hace presente durante el período de vida útil del puente y que por diferentes acciones de tipo mecánicas,

¹⁹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 42

físicas, químicas o biológicas generan “fallas por incremento de las cargas permitidas, por eventos fortuitos (impactos accidentales, explosiones, inundaciones, incendios, etc.), por cambio en las condiciones de exposición, uso y por falta de mantenimiento, reparación o rehabilitación de la estructura”²⁰.

Las patologías que más se presentan durante el funcionamiento de los puentes son:

Cuadro 3. Patologías de puentes por su funcionamiento

PATOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Infiltración (IN) y Eflorescencias (EF).	Las eflorescencias consisten en el depósito de sales que son lixiviadas fuera del concreto, las cuales se cristalizan luego de la evaporación del agua que las transportó. Ocurren frecuentemente en la superficie del concreto cuando el agua tiene la posibilidad de percolar a través del material, en forma intermitente o continua, o cuando se presentan procesos de humedecimiento y secado alternadamente. Éstas ocasionan porosidad del concreto y aumento de la permeabilidad generado vulnerabilidad a otras patologías
Carbonatación (CAR)	Es la pérdida de pH que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio (con alto pH) a carbonato de calcio, el cual tiene un pH más neutral. Ésta puede ocasionar fisuramiento
Corrosión de la armadura (COA)	Es un proceso electroquímico que causa la oxidación del acero de refuerzo en el concreto, provocada por factores como características del hormigón, espesor del recubrimiento, localización de la armadura, medio ambiente, estos daños se manifiestan por medio de fisuras en el concreto paralelas a la dirección del refuerzo, descascaramiento y /o desprendimiento del recubrimiento.
Contaminación del concreto (CTC)	Se presenta por la presencia de microorganismos en las estructuras material vegetal, ya que estos aumentan la permeabilidad del concreto conduciendo a la saturación del material. Así mismo pueden ocasionar ataques químicos al concreto desencadenando desintegración de la pasta de cemento, manchas, expansión de materiales, olores desagradables
Fallas por impacto (IMP)	Se producen por el impacto de cuerpos que según su tamaño y velocidad genera diversas consecuencias, como daños leves de fisuramiento y descascaramiento, grietas, pérdida de rigidez o colapso de la estructura
Socavación (SOC)	Es la erosión causada por el agua o por materiales abrasivos transportados por corrientes y que generan desgastes del concreto y fallas de estabilidad

Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 49.

1.6.1.5 Daños en Puentes Metálicos. Las estructuras metálicas están expuestas a varios condicionantes que llevan a desencadenar patologías que afecten a su integridad, las principales son la corrosión, la fatiga, la abrasión y las holguras en uniones, sin embargo, en los puentes se presentan diferentes patologías según sus elementos a continuación se mencionan:

²⁰ Ibid., p. 45

➤ **Corrosión.** Es un mecanismo de deterioro de las propiedades físicas y químicas de los elementos metálicos, que se produce por la reacción electroquímica producida por el contacto con el ambiente, agua y electrolitos (sales). Se presentan principalmente en aletas inferiores de las vigas, platinas de apoyo, cordón de armaduras, conexiones. Hay varios tipos de corrosiones como corrosión leve (COL), corrosión media (COM) y corrosión severa (COS).

➤ **Pintura deteriorada (PI).** Se asocia a la patología anterior siendo la principal protección contra la corrosión.

➤ **Daños en cables y pendolones.** En estos se encuentran las siguientes patologías: Pérdida de recubrimiento de los cables (PRC), fisuras en los alambres, fisuras en los muertos y contaminación en la zona de los anclajes.

➤ **Daños en perfiles metálicos, torres y miembros de armaduras.** Entre estos daños se tienen los siguientes:

Cuadro 4. Patologías de puentes metálicos por daños de perfiles metálicos, torres y miembros de armaduras

PATOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Pandeo local (PL)	Se presenta en miembros sometidos a compresión axial, se manifiesta como arrugamiento, afectando la estructura al redistribuir los esfuerzos, aumentando la sollicitación en el elemento pandeado disminuyendo la capacidad de carga del miembro.
Pandeo general lateral (PGL)	Se presenta en miembros esbeltos sometidos a compresión axial, en los cuales se ha superado la carga crítica, lo que conlleva a que no se incremente el acortamiento, sino que se producen en el miembro deformaciones laterales o deformaciones torsionales.
Fisuras en vigas longitudinales y transversales (FIV)	Se presentan fisuras de flexión en las zonas de concentración de la tensión así como en los centros de las luces y en las zonas cercanas a los apoyos en vigas continuas
Deflexión excesiva (DX)	Se presenta en vigas, largueros y diafragmas que trabajan a flexión no presentan deflexiones muy grandes de tal forma que comprometan el comportamiento de la estructura al generar esfuerzos no previstos por efectos de segundo orden e igualmente que no afecten la funcionalidad.

Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 56.

➤ **Daños en las conexiones.** En estos se presentan las siguientes patologías:

Cuadro 5. Patologías de puentes metálicos por daños en las conexiones

PATOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Ausencia o mal estado de los conectores (AUC)	Falta de pernos, remaches o arandelas, evidenciándose problemas de corrosión, fisuración o falta de tensionamiento, puede comprometer la funcionalidad de la conexión.
Excentricidades (EX)	Se presenta en los ejes de los elementos que llegan a las conexiones de las celosías, la cual tiene una gran influencia sobre la resistencia del elemento.
Fallas por tensión en la platina (TP)	Se presentan en las platinas de las conexiones de elementos sometidos a tensión, provocando fisuras o roturas transversales en la zonas donde se encuentran los pernos, las cuales se producen por esfuerzos que sobrepasan el límite de fluencia del material.
Aplastamiento de la platina (AP)	Se produce en el contacto entre los conectores y la platina a causa de los esfuerzos de compresión entre los dos elementos, manifestándose por medio de una deformación en el orificio del perno en el sentido que se aplica la carga.
Fallas por desgarramiento (DG)	Es una de las más críticas en conexiones, ya que puede ocasionar el colapso de la estructura. Se presenta cuando los conectores se encuentran cerca al borde de la platina y ésta no tiene la capacidad suficiente de absorber los esfuerzos de compresión en el conector con dichos elementos. Se manifiesta como desprendimiento de la conexión precedida de una falla por aplastamiento, llegando hasta la pérdida total de la platina desde los conectores hasta el borde.
Falla por corte en el conector (CT)	Se produce en los conectores que se encuentran sometidos a corte directo en el área transversal del conector. Está acompañado de aplastamiento en la platina, pues la resistencia del conector es mayor, se manifiesta con la rotura transversal del conector
Falla por bloque de cortante (BQ)	Se presenta en la platina de la conexión al producirse esfuerzos de tracción en un plano y esfuerzos de corte en otro perpendicular, generando desprendimiento de área encerrada entre dichos planos y el borde de la platina.
Rotura de la soldadura (SOL)	Se presenta por fatiga ante la combinación de esfuerzos de corte y tensión debidos a las vibraciones por el tráfico, manifestándose a través de una fisura a lo largo del cordón de soldadura, el cual se puede encontrar sobre el eje de la misma o en el contacto con el elemento soldado.

Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 61.

1.6.2 Marco conceptual

1.6.2.1 Patologías constructivas. Se consideran Patologías Constructivas las diferentes lesiones patológicas habituales en la construcción, que se clasifican según su causa o agente causante. Estas lesiones pueden ser, según su origen:

- Lesiones Físicas: causadas por la humedad, la suciedad, la erosión.
- Lesiones Mecánicas: sus causas se deben a un factor mecánico: grietas, fisuras, deformaciones, desprendimientos y erosión debida a esfuerzos mecánicos.

➤ Lesiones Químicas: previamente a su aparición interviene un proceso químico (oxidación, corrosión, eflorescencias, organismos vivos, etc.)

Según a qué área de la construcción afecten pueden clasificarse como:

➤ Patologías de los acabados o lesiones menores

➤ Patologías de los suelos en las que el comportamiento del suelo puede generar lesiones en el edificio

➤ Patología de los elementos estructurales del hormigón que son las debidas a los esfuerzos no controlados

Para poder diagnosticar correctamente una patología primero se debe conocer cuál es el origen que causa la misma, para poder así encontrar la solución óptima para su reparación. “Las lesiones patológicas deben ser analizadas mediante el diagnóstico de un especialista, ya que es muy importante un diagnóstico acertado para proceder al tratamiento y la óptima recuperación de la parte afectada”²¹

1.6.2.2 Manual de Inspección. En él se encuentra toda la información sobre generalidades de los puentes, responsabilidades del inspector, además se detalla la manera correcta como deben recolectarse los datos y llenar las hojas de inventario e inspección²². Igualmente, el manual de inspección se orientaciones sobre aspectos como Normas técnicas y especificaciones para la inspección de puentes y requisitos administrativos para cumplir con las regulaciones relacionadas con el registro y la notificación de información de inspección²³.

1.6.2.3 Superestructura. Según el Ministerio de Transporte de Paraguay, es aquella parte del puente que permite la continuidad del camino con su calzada y banquetas. “La superestructura soporta el paso de las cargas móviles que son transmitidas a la infraestructura a través de los sistemas de apoyo, y está conformada por uno o más tramos dependiendo de la cantidad de elementos intermedios de la infraestructura que la sustenten. En el caso de las pasarelas, la superestructura es aquella parte de la estructura que permite el paso peatonal y/o una ciclovía. La superestructura está constituida por el tablero, su sistema estructural, el sistema de vigas o losas y elementos especiales que tienen

²¹ CONSTRUMATICA. Patologías Constructivas [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 19 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://www.construmatica.com/construpedia/Categor%C3%ADa:Patolog%C3%A1Das_Constructivas>

²² SALAZAR GUZMÁN, Tatiana. Inspección, evaluación y priorización de 8 puentes utilizando el Proceso Analítico Jerárquico. San José: Instituto Tecnológico De Costa Rica. Escuela de Ingeniería en Construcción. Modalidad trabajo de grado, 2012. p. 8

²³ OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Manual of Bridge Inspection. Ohio: Engineers Association of Ohio, 2012. p. 7

determinadas funciones”²⁴.

1.6.2.4 Componentes de Concreto. De acuerdo con Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de Perú, se refiere a los daños comunes en los componentes de concreto incluyen agrietamiento, escamas, de laminación, spalling (descascaramiento), afloramientos, desgaste o abrasión, daños de colisión, pulido, y sobrecarga.

Los agrietamientos en concreto son usualmente finos para ser detectados a simple vista. Se califican como grietas finas, medias o anchas. Las primeras son usualmente insignificantes para la capacidad de la estructura, pero deben ser reportadas como una advertencia. Las grietas medias y anchas son significativas para la capacidad estructural y deben ser registradas y monitoreadas en los reportes de inspección. Las grietas pueden ser estructurales y no estructurales:

Las grietas estructurales requieren de atención inmediata, toda vez que ellas afectan la capacidad del puente

Las grietas no estructurales son causadas por expansión térmica y contracción de fraguado; en losas debe tenerse especial cuidado, puesto que el agua de infiltración de lluvia puede conllevar a la corrosión de la armadura.

El desgaste de la superficie de rodadura es la pérdida gradual y continua de superficie de mortero y agregado sobre un área²⁵.

1.6.2.5 Componentes de Madera. “Daños comunes en los componentes de madera son causados por hongos, humedad, parásitos y ataque químico. Deterioros de la madera pueden ser causados por fuego, impactos o colisiones, abrasión o desgaste mecánico, sobreesfuerzos, intemperie y flexiones (combaduras o pandeos)”²⁶.

1.6.2.6 Componentes de Acero. “Daños comunes en los componentes de acero incluyen la corrosión, el agrietamiento, daños por colisión y sobreesfuerzos. Los agrietamientos usualmente se inician en la conexión, el extremo final de la soldadura o sobre un punto corroído de un miembro y, luego, se propaga a través de su sección transversal hasta la fractura del miembro”²⁷.

1.6.2.7 Apoyos. Pueden ser categorizados en dos grupos: metálicos y elastoméricos. “Los apoyos metálicos pueden volverse inoperativos debido a corrosión, acumulación de escombros, u otras interferencias. Apoyos congelados pueden generar flexiones, ondulamientos y alineamiento inapropiado de

²⁴ PARAGUAY. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES. Normas para estructuras y puentes. Asunción: Manual de Carreteras, 2014, p. 15

²⁵ PERÚ. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES REPÚBLICA DEL PERÚ, Op. Cit., p. 10

²⁶ Ibid., p. 14

²⁷ Ibid., p. 14

miembros. Otros tipos de daños son pérdidas de seguros, rotura de soldadura, corrosión en la superficie deslizante. Los daños en placas de apoyos elastoméricos son: excesivo abultamiento, rompimiento o desgarramiento, corte y falla por corrimiento”²⁸.

1.6.3 Marco legal. Para el desarrollo del trabajo se tendrá en cuenta la siguiente normatividad

El Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCDSP). La norma está basada en las especificaciones americanas ‘AASHTO LRFD’ 6ª edición, que a su vez se apoya en la filosofía LRFD (factores de diseño de carga y resistencia), acorde con las prácticas actuales de diseño y construcción de estructuras de la mayoría de los países del mundo. En el CCP-14 se incluyen aspectos novedosos como la actualización de los mapas de amenaza sísmica y la calibración de la carga viva vehicular de diseño para la práctica colombiana que mejoran los criterios de confiabilidad estructural.

Manual para la Inspección Visual de puentes y pontones elaborado por el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Inviás, en colaboración con la Universidad Nacional de Colombia, publicado en 2006. Este manual presenta algunas recomendaciones para que se lleve a cabo la inspección visual y el inventario de los daños que afecten los elementos intervenidos en un puente o pontón.

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, específicamente en el Título A hacen referencia a las estructuras ya sean antiguas y futuras, las cuales deben de reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos.

Normas NTC 4774. Accesibilidad de las personas al medio físico. Espacios urbanos y rurales. Cruces peatonales a nivel, elevados o puentes peatonales y pasos subterráneo

Decreto 279 De 2003. Por el cual se reglamentan los puentes peatonales en el Distrito Capital.

1.6.4 Estado del Arte. En Colombia se han realizado pocas investigaciones acerca del estudio de patologías presentes en los puentes peatonales, bien sea de concreto o metálicos, sin embargo, las pocas que se han llevado a cabo, han utilizado la inspección visual de los elementos que componen los puentes, como mecanismo de diagnóstico, destacándose las siguientes:

“Evaluación, diagnostico patológico y propuesta de intervención del puente Romero Aguirre” y “Evaluación, diagnóstico, patología y propuesta de intervención

²⁸ Ibid., p. 14

del puente sobre el Caño el Zapatero a la entrada de la Escuela Naval Almirante Padilla” realizadas en la Universidad de Cartagena en 2014. La primera, evidenció que las principales patologías se presentaban en los elementos de la superestructura, principalmente en las barandas presentando graves patologías tales como; desprendimiento total del concreto, exposición del acero y grietas. Los andenes cuya funcionalidad es importante para el tránsito peatonal se encuentra en estado de deterioro avanzado presentando desportillamiento y permitiendo así el crecimiento de vegetación en estos elementos. Las escaleras carecen de barandas y las pocas que aún se conservan se encuentran en estado de oxidación, estos elementos muestran daños como desprendimiento de material, grietas y fisuras²⁹.

En la segunda, se encontraron elementos con necesidad de un mantenimiento urgente para lograr su rehabilitación como es el caso de la capa de rodadura que presenta un desgaste del 100% por lo que se encuentra el agregado grueso a la vista, barandas y pendolones que presentan corrosión y oxidación en un 81% y 73%, respectivamente. También se encontraron daños menores como desportillamiento de bordillos, desgaste en juntas y falta de iluminación³⁰.

Así mismo, algunas investigaciones han determinado que las patologías mecánicas son las de mayor trascendencia, especialmente en estructuras de concreto, pues éstas tienen relación directa con la durabilidad de la estructura, destacándose que “la mayoría de los puentes cuenta con una edad avanzada y tal vez por esta razón presentan varias sintomatologías y que la patología más común presente en todas estas estructuras sin duda alguna son las fisuras, ya de por si el concreto tiende a fisurarse con el paso del tiempo debido a su estado de servicio; así mismo, el desprendimiento de material y el acero de refuerzo descubierto y expuesto, lo que provoca el ataque de agentes químicos y por consiguiente su mayor desgaste”³¹.

Al respecto, la investigación que identificó las patologías presentes en los puentes peatonales de la localidad de Teusaquillo, corrobora que las patologías mecánicas son las más frecuentes, las cuales son causadas por los movimientos de tierra, asentamientos diferenciales de la estructura, diseños inadecuados o insuficientes, defectos en su construcción y humedad en la zona, induciendo a fisuras y agrietamientos en la estructura, siendo las losas, vigas y riostras los elementos

²⁹ CONTRERAS PÉREZ, Cindy Alejandra y REYES RAVELO, Erika de Jesús. Evaluación, diagnóstico patológico y propuesta de intervención del puente Romero Aguirre. Cartagena: Universidad de Cartagena. Facultad de ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2014. p. 14

³⁰ SERPA IRIARTE, María Fernanda y SAMPER PERTUZ, Lina Maria. Evaluación, diagnóstico, patología y propuesta de intervención del puente sobre el Caño el Zapatero a la entrada de la Escuela Naval Almirante Padilla. Cartagena: Universidad de Cartagena. Facultad de ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2014. p. 19

³¹ PEÑUELA BEJARANO, Elkin y SOSSA ESPITIA, Julio José. Patologías mecánicas presentes en los puentes vehiculares de la localidad de Fontibón. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2015.

que mayor afectación presentaron, y que ésta fue provocada principalmente por bajo o deteriorado recubrimiento, seguido de la exposición del acero, fisuramiento por retracción, hormigueros y segregación³². En cuanto a las estructuras metálicas, sus daños principales se presentan en los accesos peatonales, en donde la principal patología identificada fue el deterioro de la pintura en barandas, debido a agentes externos, presentándose corrosión leve, a la acumulación de agua, vegetación, basuras y acciones mecánicas.

1.7 METODOLOGÍA

1.7.1 Tipo de investigación. Se desarrollará una investigación de tipo descriptiva, la cual especifica y describe datos o información, así como especifica propiedades y características de un tema específico, que, en el caso de la presente investigación, se relaciona con la caracterización de las patologías que se presentan en los puentes peatonales de la Localidad de Usaquén de la ciudad de Bogotá, información con la cual se quiere establecer el estado de la estructura actual de los mismos.

Así mismo, se aplicará un enfoque cuantitativo y cualitativo, teniendo en cuenta que algunas de las variables de estudio serán analizadas mediante mediciones y otras se estudiarán mediante recopilaciones documentales teóricas.

1.7.2 Fuentes de información.

1.7.2.1 Fuentes Primarias. Las principales fuentes serán los formatos de las inspecciones visuales realizados según el Manual para la Inspección Visual de puentes y pontones, documentos relacionados con el diseño de los puentes a inspeccionar.

1.7.2.2 Fuentes Secundarias. Como fuentes secundarias se tendrán guías, manuales, libros e investigaciones relacionadas con el tema de estudio y que aporten a la realización del trabajo.

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

1.8.1 Etapa 1. Revisión documental. En esta etapa se realizarán las siguientes actividades:

➤ Revisión de guías y manuales para caracterizar los tipos de puentes y sus componentes, para así poder identificar los principales aspectos a evaluar en la inspección visual.

³² GUZMÁN VARGAS, Ana María y PADILLA ALDANA, Joana Mercedes. Patología de los puentes peatonales en la localidad de Teusaquillo. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2017. P. 40

➤Revisión de información contenida en el manual de inspección y evaluación de patologías de puentes peatonales, para diseñar los formatos en los que se ingresara los resultados de los hallazgos encontrados en las inspecciones visuales de los puentes con su respectivo registro fotográfico.

➤Recopilación de información histórica de aspectos relacionados con la construcción, mantenimiento e inspecciones pasadas de los puentes peatonales de la localidad de Usaquén.

1.8.2 Etapa 2. Planeación y realización de inspecciones visuales. En esta etapa se realizarán las siguientes actividades:

➤Diseñar el plan de visitas a cada puente para realizar las inspecciones, según su trazado y ubicación.

➤Realizar las inspecciones visuales de cada puente observando y determinando los daños, fallas, falencias y deterioros presentes en los mismos, determinando su nivel de gravedad y haciendo el debido registro fotográfico.

1.8.3 Etapa 3. Procesamiento y análisis de información. En esta etapa se realizará las siguientes actividades:

➤Digitalización y procesamiento de información mediante matrices diseñadas en software, discriminando los diferentes tipos de patologías encontradas en cada puente.

➤Analizar los resultados del procesamiento de la información, caracterizando las principales patologías y sus posibles causas, así mismo describiendo las características físicas, químicas y mecánicas que se presentan los puentes peatonales.

1.8.4 Etapa 4. Estrategias de mejoramiento. En esta etapa se hará lo siguiente:

➤Se postularán algunas estrategias de mejoramiento para ser implementadas en los puentes peatonales de la localidad de Usaquén, según los resultados de las patologías encontradas.

➤Conclusiones finales y recomendaciones

2. CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS DE PUENTES PEATONALES PARA EL DISEÑO DE FICHAS DE INSPECCIÓN

2.1 OBJETIVO

El propósito de la caracterización de los puentes peatonales, es conocer profundamente cada uno de los elementos que lo conforman, pues, es a partir de esta información que, se puede realizar una inspección completa, esto teniendo en cuenta cada elemento de un puente tiene a su vez diferentes estilos y tipos y por tanto, cada uno puede presentar diferentes tipos de patologías.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL PUENTE

En el proceso de inspección y evaluación de patologías de puentes, se debe tener clara la localización e identificación de los mismos, algunos de los campos que se incluyen las fichas de inspección son:

- Nombre de la vía.
- Código del puente. Correspondiente a la numeración que maneja el INVIAS.
- Localidad
- Dirección exacta donde se encuentra ubicado el puente
- Obstáculo que salva, hace referencia al tipo y nombre del obstáculo que salva: río, quebrada o vía.

A continuación, se puede observar el contenido de localización de la ficha de inspección que se diseñó para la presente investigación (véase el Cuadro 6)

Cuadro 6. Localización del Puente

Cundinamarca		CODIGO	12
NOMBRE DE LA VIA			
CODIGO DEL PUENTE			
LOCALIDAD	Usaquen		
DIRECCION			
OBSTACULO QUE SALVA			

Fuente. Los Autores

En cuanto a la identificación de la estructura, se clasificará de dos formas principales, la primera relacionada con el tipo de puente, en donde se detalla si es una estructuración transversal o longitudinal según se clasifica a continuación (véase el Cuadro 7 y la Figura 2).

Cuadro 7. Tipos de Puente según estructuración transversal o longitudinal

Estructuración transversal	Estructuración longitudinal
Losa sobre vigas	Vigas simplemente apoyadas
Losa simplemente apoyada	Vigas continuas
Viga Cajón	Puente colgante
Armadura de paso superior	Puente atirantado
Armadura de paso inferior	Pórtico
Arco Superior	Box culvert
Arco Inferior	

Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 12

Figura 2. Tipos de puentes según estructuración transversal o longitudinal

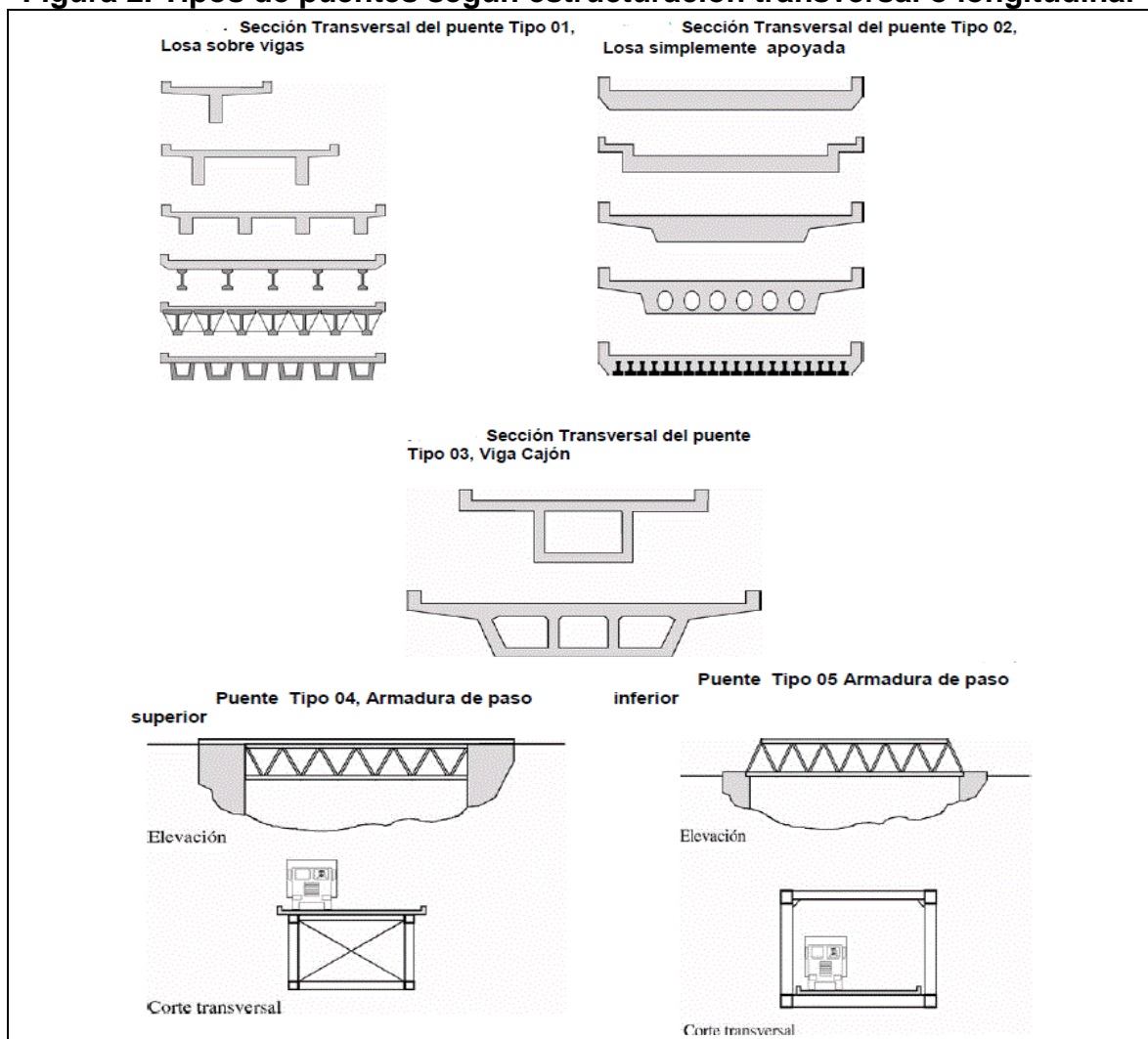
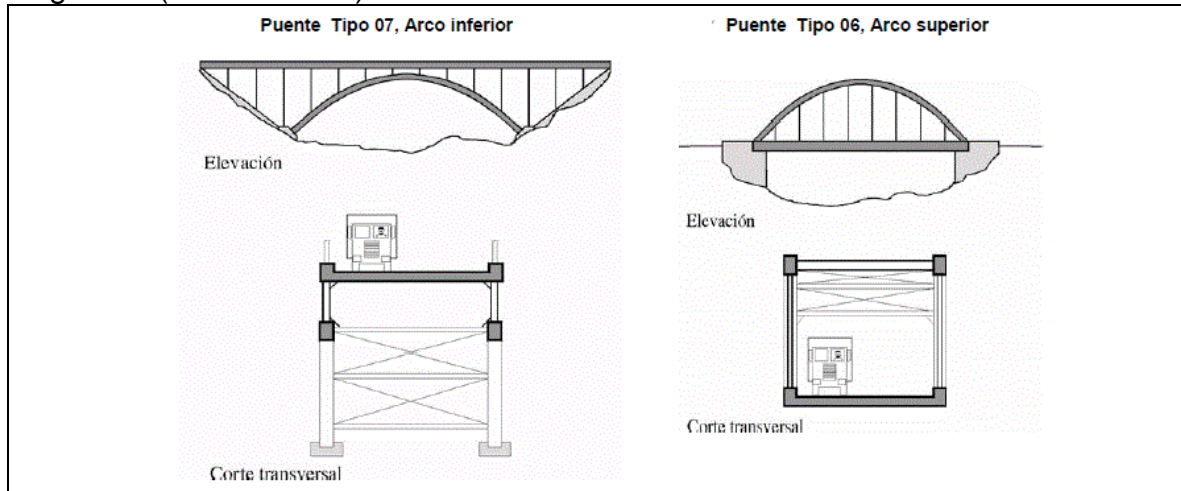


Figura 1. (Continuación)



Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 12

Así mismo, se incluye un aparte en el que se registran las dimensiones generales del puente, las cuales son:

- Longitud Total de la Estructura (m)
- Ancho de la Calzada (m)
- Gálibo Vertical (m)
- Número de Luces

A continuación, se puede observar el contenido de identificación de la estructura de la ficha de inspección que se diseñó para la presente investigación (véase el Cuadro 8)

Cuadro 8. Identificación de la Estructura del Puente

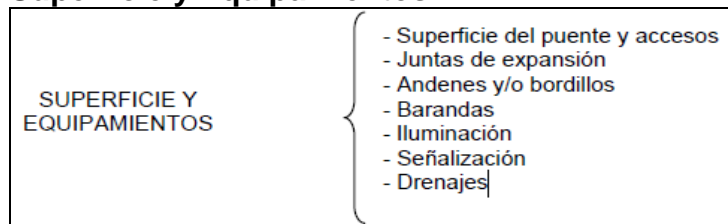
TIPO DE PUENTE			
TRASVERSAL	CUMPLE	LONGITUDINAL	CUMPLE
Losa sobre vigas		Vigas simplemente apoyada	
Losa simplemente apoyada			
Viga cajon		Vigas continuas	
Armadura de paso superior		Puente colgante	
Armadura de paso inferior		Puente atirado	
Arco superior		Portico	
Arco inferior		Box culvert	
DIMENSIONES GENERALES DEL PUENTE			
Longitud Total de la Estructura (m)			
Ancho de la Calzada (m)			
Gálibo Vertical (m)			
Número de Luces			

Fuente. Los Autores

2.3 INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN POR ELEMENTOS

De acuerdo con el Manual para la inspección visual de puentes y pontones, para realizar la evaluación de cada elemento del puente, es importante realizar en un orden establecido, con lo que se evitarán omisiones de cualquier tipo. Según esto los elementos que se van a evaluar son los siguientes (véase la Figura 3).

Figura 3. Inspección y Evaluación de Puentes Según Elementos de Superficie y Equipamientos



Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 14

2.3.1 Superficie del puente y accesos. Las superficies de rodadura así como de los accesos de los puentes se clasifican en asfalto, concreto, afirmado, metálica u otra. En cuanto a sus patologías, estas pueden ser fisuras, deformaciones, desprendimientos, daños superficiales, además pueden presentar otro tipo de daños que serán clasificados y descritos de acuerdo al criterio del inspector.

2.3.2 Juntas de expansión. “Estas corresponden a elementos que permiten los movimientos y/o rotaciones entre dos partes de una estructura y que evitan deformas y daños”³³. Los elementos típicos de las juntas son los guardacantos, ángulos o platinas en perfiles metálicos y los sellos como se muestra a continuación (véase la Figura 4)

Figura 4. Elementos de las Juntas

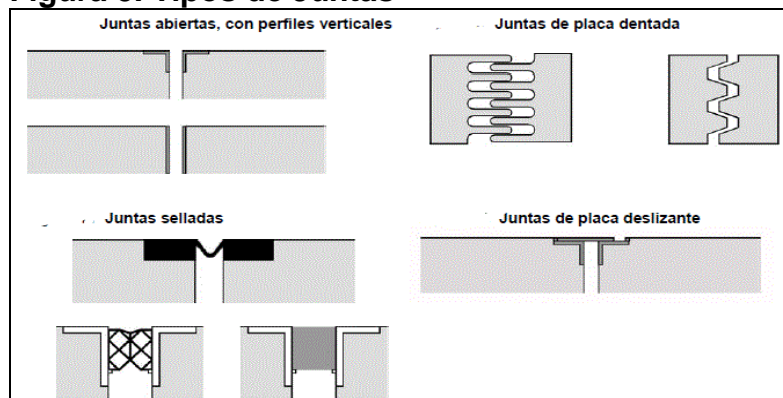


Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 16

³³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 14

Así mismo, las juntas se clasifican como juntas abiertas, selladas, de placa dentada, de placa deslizante, u otras (véase la Figura 5). Los daños que presentan las juntas pueden ser Obstrucción del sello, Ruptura del sello, Ausencia del sello; Agrietamiento o rotura de soldaduras, ausencia de anclajes, perfiles defectuosos, perfiles sueltos, Desgaste, Desportillamiento y fisuramiento.

Figura 5. Tipos de Juntas



Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 17

Cada uno de los elementos mencionados se tuvieron en cuenta para el diseño de ficha (véase el Cuadro 8).

2.3.3 Andenes y Bordillos. Se incluyen las dimensiones ancho y largo en metros, de los andenes y/o bordillos, los daños que se presentan en éstos son desportillamientos o agrietamiento, acero expuesto y corrosión, dimensiones insuficientes. Todos estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 9).

2.3.4 Barandas. Las barandas hacen parte fundamental de los puentes peatonales, evitando que ocurran accidentes, éstas se clasifican en barandas de Mampostería, Concreto, Metálicas, Pasamanos metálicos y postes en concreto u otra. Los daños que se presentan en estas son Delaminación de la pintura, Ausencia de pintura, Deterioro, Fracturamiento en postes, ausencia de postes, golpes por impacto vehicular, Corrosión, Ausencia de elementos, Golpes por impacto³⁴. Todos estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 9).

2.3.5 Iluminación. En este aspecto se verifican la existencia y funcionamiento de elementos como focos, farolas, lámparas. Todos estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 4).

³⁴ Ibid., p. 19

2.3.6 Señalización. Hace referencia a la verificación de la señalización que debe estar presente en el puente, y que debe ser legible, visible tanto horizontal como verticalmente, reductores de velocidad. Las fallas que presenta este componente son Ilegibilidad, Retrorreflexividad deficiente, Falta de adherencia entre el tablero y los símbolos, Invisibilidad, localizaciones inadecuadas o cubiertas por la vegetación, daños ocasionados por agentes externos, señalización golpeada, vandalismo, demarcaciones defectuosas. Todos estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 9).

2.3.7 Drenajes. Existen drenajes transversales y longitudinales a las vías, su función es evitar el estancamiento del agua sobre la superficie del puente, por lo que su correcta disposición evita la descarga del agua sobre los elementos de la estructura del puente y la erosión en la salida de los ductos. “La localización inadecuada de los drenajes y las malas prácticas de construcción normalmente generan problemas de infiltración, eflorescencias, deterioro y contaminación del concreto aledaño. Las fallas más comunes encontradas en los drenajes longitudinales corresponden a: taponamiento de los drenajes, ausencia de drenajes y longitud o sección insuficiente”³⁵. Todos estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 9).

Cuadro 9. Estructura de la Ficha Sección Inspección por Elementos de Superficie y Equipamientos

SUPERFICIE Y EQUIPAMENTOS			
SUPERFICIE DEL PUENTE Y ACCESOS	CUMPLE	FOTOGRAFÍA	
Asfalto			
Concreto			
Afirmado			
Metálica			
Otro			
OBSERVACIONES			
JUNTAS DE EXPANSIÓN	CUMPLE	FOTOGRAFÍA #	
Juntas abiertas			
Juntas selladas			
Juntas de placa dentada			
Juntas de placa deslizante			
Otra			
ELEMENTOS DE LAS JUNTAS (SELLOS)			
LOCALIZACIÓN	CONVENCION DEL DAÑO	GRADO DEL DAÑO	FOTOGRAFÍA #
ELEMENTOS DE LAS JUNTAS (PERFILES)			
LOCALIZACIÓN	CONVENCION DEL DAÑO	GRADO DEL DAÑO	FOTOGRAFÍA #
ELEMENTOS DE LAS JUNTAS (GUARDACANTOS)			
LOCALIZACIÓN	CONVENCION DEL DAÑO	GRADO DEL DAÑO	FOTOGRAFÍA #
FOTOGRAFÍA #		OBSERVACIONES	

³⁵ Ibid., p. 21

Cuadro 4. (Continuación)

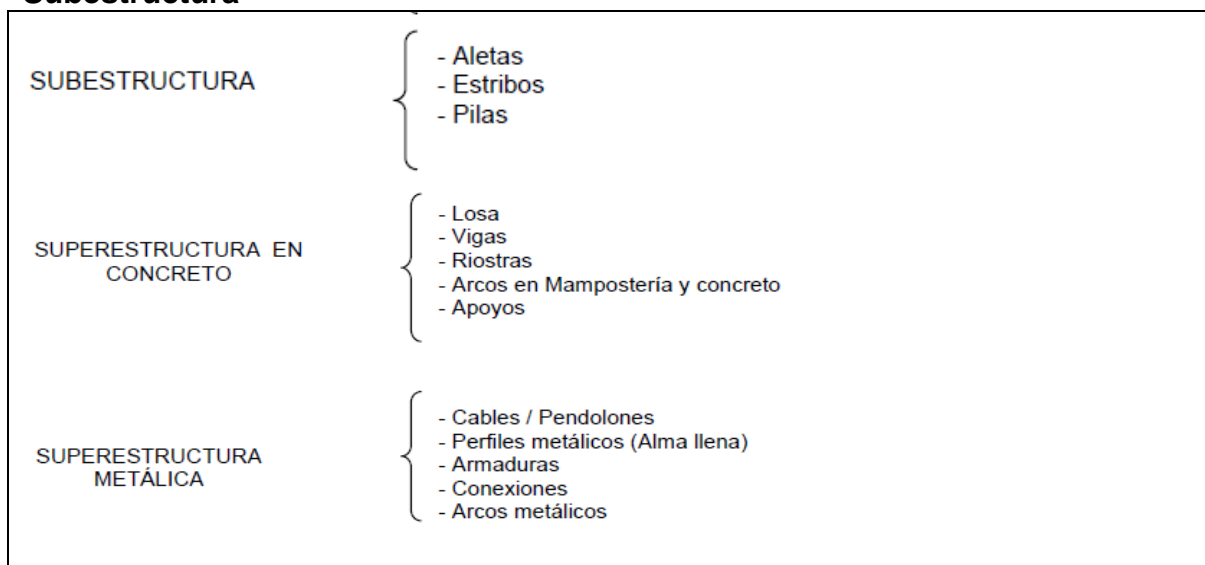
ANDENES/BORDILLOS	DIMENSIONES	ANCHO:	LARGO:
TIPOS DE DAÑOS	GRADO DEL DAÑO	LOCALIZACIÓN	FOTOGRAFÍA #
Desportillamiento o agrietamiento			
Acero expuesto			
Corrosión del mismo			
FOTOGRAFÍA #	OBSERVACIONES		
BARANDAS	CUMPLE	FOTOGRAFÍA	
Mampostería			
Concreto			
metálica			
Pasamanos metálicos y postes en concreto			
Otra			
ELEMENTOS DE LAS BARANDAS (Pintura)			
LOCALIZACIÓN	CONVENCION DEL DAÑO	GRADO DEL DAÑO	FOTOGRAFÍA #
ELEMENTOS DE LAS BARANDAS (Postes)			
LOCALIZACIÓN	CONVENCION DEL DAÑO	GRADO DEL DAÑO	FOTOGRAFÍA #
ELEMENTOS DE LAS BARANDAS (Pasamanos)			
LOCALIZACIÓN	CONVENCION DEL DAÑO	GRADO DEL DAÑO	FOTOGRAFÍA #
FOTOGRAFÍA #	OBSERVACIONES		
ILUMINACION	CUMPLE	FOTOGRAFÍA #	
Focos			
Farolas			
Lámparas			
OBSERVACIONES			
SEÑALIZACION	TIPO		CUMPLE
	Vertical		
	Horizontal		
	Reductores de velocidad		
LOCALIZACIÓN	CONVENCION DEL DAÑO	GRADO DEL DAÑO	FOTOGRAFÍA #
FOTOGRAFÍA #	OBSERVACIONES		
DRENAJES	TIPOS DE FALLAS		CUMPLE
	Taponamiento		
	Ausencia		
	Longitud insuficiente		
LOCALIZACIÓN	CUANTIFICACION DE LOS DAÑOS		FOTOGRAFÍA #
FOTOGRAFÍA #	OBSERVACIONES		

Fuente. Los Autores

2.4 INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN SUBESTRUCTURA

Según la revisión literaria, los componentes de la subestructura del puente pueden ser de apoyo, componentes de subestructura en concreto, componentes de subestructura metálica, como se muestra a continuación (véase la Figura 6).

Figura 6. Inspección y Evaluación de Puentes Según Elementos Subestructura



Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 15

2.4.1 Apoyos. Se refiere a los apoyos en estribos, en pilas y en voladizos de la superestructura, tanto apoyos fijos como apoyos móviles. Se clasifican en Balancín, Rodillos, Placas en Neopreno, Apoyo Fijo. Basculante u Otros. Los daños que se presentan en este componente son Desplazamiento, deformación excesiva y descomposición. Estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 10).

2.4.2 Aletas y Estribos. Para la inspección de este componente se debe tener en cuenta el tipo de material que puede ser de Mampostería, Concreto ciclópeo, Concreto reforzado, Acero, Acero y concreto o Tierra armada. Entre los daños típicos encontrados en aletas y estribos de puentes, se tienen los siguientes:

- Grietas verticales en la unión entre estribos y aletas.
- Fisuras y deterioro en el concreto provocados por corrosión del refuerzo.
- Movimiento o asentamiento de estribos.
- Problemas de socavación local en estribos.
- Problemas en el concreto expuesto (segregación, hormigueros, juntas frías inadecuadas)³⁶.

Estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 10).

³⁶ Ibid., p. 24

2.4.3 Pilas. Elementos estructurales que transmiten la carga de la superestructura a la cimentación y proporcionan apoyos intermedios entre los estribos, dándole estabilidad a la estructura. Las pilas pueden estar formadas por una o más columnas generalmente con sección transversal circular o rectangular. Los tipos de pilas que hay son Formada por 1 columna, Formada por 2 o más columnas, Torre metálica, Másti, así mismo su forma puede ser Circular, Rectangular u Otra. Entre los daños típicos encontrados en las pilas de los puentes, se tienen los siguientes:

- Problemas de socavación local en la cimentación de las pilas.
- Fisuras en el concreto provocadas por corrosión del refuerzo.
- Fisuras por asentamiento o movimiento diferencial entre pilas.
- Problemas en el concreto expuesto (segregación, hormigueros, juntas frías inadecuadas).
- Problemas de humedad debido a drenajes con longitud insuficiente³⁷.

Estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 10).

Cuadro 10. Estructura de la Ficha Sección Inspección por Elementos de Superestructura General

APOYOS			
TIPO DE APOYOS	CUMPLE	FOTOGRAFIA #	
Balancín			
Rodillos			
Placas en Neopreno			
Apoyo fijo			
Basculante			
Otro			
OBSERVACIONES			
ALETAS Y ESTRIBOS			
TIPO DE MATERIAL	CUMPLE	TIPOS DE DAÑOS	CUMPLE
Mampostería		Por diseño	
Concreto Ciclopeo		Por construcción	
Concreto Reforzado		Por funcionamiento	
Acero		Otros	
Acero y concreto			
Tierra armada			
FOTOGRAFÍA #		OBSERVACIONES	
PILAS	CUMPLE	FOTOGRAFÍA #	
Formada por 1 columna			
Formada por 2 o mas columnas			
Torre metálica			
Mástil			
Otra			
SECCIÓN TRANSVERSAL DE LAS PILAS			
FORMAS	CUMPLE		
Circular			
Rectangular			
Otra			
OBSERVACIONES			

Fuente. Los Autores

³⁷ Ibid., p.25

2.4.4 Losa, vigas. En esta sección se encontrarán los tipos de losas que son Prefabricadas; Prelosa + losa fundida in situ; Celulares, Macizas, así mismo los tipos de viga son reforzadas, Preesforzadas, Postensadas, mientras que la sección transversal en vigas puede ser constante o variable. Entre las fallas más comunes detectadas en superestructuras de concreto se tienen las siguientes:

- Pérdida o falta del concreto de recubrimiento.
- Exposición del acero de refuerzo y corrosión del mismo.
- Deficiencias en la construcción, (segregación, hormigueros, juntas frías inadecuadas).
- Fisuración por sobrecargas y esfuerzos no considerados en el diseño.
- Deflexiones.
- Deterioro en el concreto expuesto por drenajes inadecuados.

Estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 11).

Cuadro 11. Estructura de la Ficha Sección Inspección por Elementos de Superestructura en Concreto

LOSAS, VIGAS Y RIOSTRAS					
TIPO DE LOSAS	CUMPLE	TIPO DE VIGAS	CUMPLE	SECCIÓN TRANSVERSAL	CUMPLE
Prefabricada		Reforzadas		Sección constante	
Prelosa+losa fundida		Preesforzadas		Sección variable	
Celulares		Postensadas		Otra	
Macizas		Otra			
Otra					
TIPOS DE DAÑOS	CUMPLE	LOCALIZACIÓN	CONV. DEL DAÑO	GRADO DEL DAÑO	FOTOGRAFÍA #
Por diseño					
Por construcción					
Por funcionamiento					
Otros					
FOTOGRAFÍA #			OBSERVACIONES		

Fuente. Los Autores

2.4.5 Elementos de Arco. Estos elementos hacen referencia a los puentes identificados como Tipo Arco superior y/o Tipo Arco inferior de acuerdo, los cuales pueden ser de concreto, mampostería o metálicos. Generalmente los puentes metálicos con este tipo de estructuración transversal son de arco superior, mientras que los de mampostería o concreto son de arco inferior³⁸.

Los principales daños encontrados en las superestructuras tipo arco son los siguientes (véase la Figura 7)

³⁸ Ibid., p. 26

Figura 7. Tipos de Daños superestructuras tipo arco

Arcos de Mampostería	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuración y grietas en las bóvedas • Hundimiento y desplazamiento de dovelas. • Grietas en las juntas de mortero entre los elementos de la mampostería. • Deterioro de la unidades de mampostería por crecimiento de vegetación. • Desprendimiento de las unidades de mampostería. • Filtraciones y eflorescencias. • Erosión.
Arcos Metálicos	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosión. • Elementos deformados y fisurados. • Pérdida de elementos. • Deficiencias en la soldadura. • Pintura deteriorada. • Impacto
Arcos de Concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuración en las bóvedas. • Ausencia o pérdida del recubrimiento. • Exposición del acero de refuerzo y corrosión del mismo. • Filtraciones y eflorescencias. • Concreto deteriorado. • Socavación localizada.

Fuente. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 27

2.4.6 Cables, Pendolones y Torres. En este ítem se consideran los elementos principales de la superestructura de puentes colgantes y atirantados tales como cables, pendolones y torres. Dentro de los daños identificados en estos elementos en los puentes de acero y de estructura mixta se tienen los siguientes:

- Corrosión generalizada o parcial del acero estructural.
- Pérdida de recubrimiento de los cables.
- Falta de alineación de cables y pendolones.
- Fisuras transversales en los pendolones.
- Fisuras por retracción en la superficie de los muertos de los anclajes.
- Falta de remaches y/o pernos.
- Problemas de pintura.
- Fallas por impacto.

Estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 12).

2.4.7 Perfiles metálicos. Son elementos estructurales tales como vigas, largueros, diafragmas o columnas metálicas que son parte integral de la superestructura y tienen la capacidad de soportar esfuerzos axiales, de corte,

flexión y torsión³⁹.

Estos presentan daños como:

- Corrosión general o parcial de los perfiles metálicos
- Pandeo local o general
- Grietas por flexión en vigas longitudinales y transversales.
- Pérdida de sección de los elementos por efectos de la corrosión.
- Aplastamiento del alma
- Deflexión excesiva
- Pérdida de pintura o recubrimiento

Estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 12).

2.4.8 Armadura. Hacen referencia a los puentes identificados como Armadura superior y/o Armadura inferior la cuales son “sistemas estructurales reticulados en celosía, formados por nudos y elementos rectos configurados formando triángulos”⁴⁰. Los daños que se presentan en este componente son:

- Corrosión generalizada en elementos diagonales, montantes y uniones
- Soldaduras y uniones defectuosas.
- Falta de remaches y/o pernos.
- Problemas de pintura.
- Deflexiones excesivas.
- Pandeo local en elementos.
- Impacto vehicular en el cordón
- Excentricidad en las uniones⁴¹.

Estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 12).

2.4.9 Conexiones. Estos elementos permiten la unión adecuada de dos o más miembros para transmitir las cargas de manera segura. Estas conexiones se pueden realizar con soldadura, con conectores (remaches, tornillos o pernos) o con pasadores⁴². Las fallas que se presentan en este componente son las siguientes:

- Excentricidad:

³⁹ Ibid., p. 28

⁴⁰ Ibid., p. 31

⁴¹ MUÑOZ, Edgar y VALBUENA, Edgar. Evaluación del Estado de los Puentes de Acero de la Red Vial de Colombia. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería 2005

⁴² TAKEUCHI, Caori. Conexiones en Estructuras Metálicas. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá. 2004.

- Tensión en las platinas
- Aplastamiento de la platina
- Desgarramiento.
- Corte en el conector.
- Bloque de cortante.
- Deficiencias en la soldad
- Corrosión generalizada.

Estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 12).

Cuadro 12. Estructura de la Ficha Sección Inspección por Elementos de Superestructura Metálica

ARCOS METÁLICOS	Arco Izquierdo	Arco Derecho	Arriostramiento lateral	Otros	Observaciones
PERFILES METÁLICOS	Viga	Largueros	Diafragmas	Otros	Observaciones
ARMADURAS	Cordones	Montantes	Diagonales	Otros	Observaciones
CONEXIONES	Con Soldadura	Con Conectores	Con pasadores	Otros	Observaciones
CABLE/PENDOLONES/TORRES	Cables	Pendolones	Torres	Otros	Observaciones

Fuente. Los Autores

2.5 INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE OTROS ELEMENTOS DE LOS PUENTES

2.5.1 Acceso peatonal. Este componente contempla los accesos a los puentes pueden mediante rampas y/o escaleras que pueden ser de concreto, metálicos o mixtos, Entre las fallas se tienen las siguientes:

- Ausencia o pérdida del recubrimiento
- Exposición del acero de refuerzo
- Corrosión del refuerzo y de la estructura metálica
- Deficiencias en la construcción (hormigueros, segregación, soldaduras inadecuadas)
- Desplazamiento relativo entre la estructura principal del puente y el inicio de la escalera o rampa
- Falta de remaches y/o pernos.
- Problemas de humedad por drenajes inadecuados
- Fallas en barandas.
- Pintura deteriorada⁴³.

⁴³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 34

Estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 13).

2.5.2 Cauce. Hace referencia al área bajo el puente, además de las orillas aguas arriba y aguas debajo de la estructura cuando esto aplique. Los fallos que se presenta aquí son:

- Inestabilidad de taludes o terraplenes adyacentes a la estructura
- Erosión en el lecho y márgenes del río
- Socavación general del cauce
- Obstrucción del cauce por escombros, presencia de la vegetación o invasión del mismo
- Sedimentación de material transportado por la corriente
- Falla o colapso de las estructuras de protección de las orillas del río.

Estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 13).

2.5.3 Puente en General. Aquí se hace la evaluación general de la estructura en lo que hace referencia al funcionamiento integral de todos los elementos del puente. En este componente se describirá lo siguiente, según aplique:

“Vibraciones excesivas, sobrecargas ocasionadas por el tráfico, restricciones de carga, velocidad o tráfico sobre la estructura. Se incluirán de igual manera detalles de cualquier condición del medio ambiente que esté afectando la estructura, de trabajos que se estén realizando sobre los elementos del puente o evidencia de modificaciones a la estructura inicial. Adicionalmente se deberá especificar la prioridad de la reparación o rehabilitación, así como la necesidad de realizar estudios detallados en algún componente de la estructura”⁴⁴. Estos elementos se tuvieron en cuenta para el diseño de la ficha de inspección y evaluación (véase el Cuadro 13).

Cuadro 13. Inspección y Evaluación de Otros Elementos de los Puentes

ACCESO PEATONAL					
ESCALERAS			RAMPAS		
CONCRETO	METÁLICO	MIXTO	CONCRETO	METÁLICO	MIXTO
N° DE FALLA	FALLA	ELEMENTOS DEL ACCESO	Peldaños/Losas	FOTOGRAFÍA #	
1	Ausencia o pérdida del recubrimiento	N° DE FALLAS			
2	Exposición del acero de refuerzo	OBSERVACIONES			
3	Corrosión del refuerzo y de la estructura metálica	ELEMENTOS DEL ACCESO	Vigas gualderas	FOTOGRAFÍA #	
		N° DE FALLAS			

⁴⁴ Ibíd., p. 35

Cuadro 8. (Continuación)

4	Deficiencias en la construcción	OBSERVACIONES			
5	Desplazamiento relativo	ELEMENTOS DEL ACCESO	Barandas		FOTOGRAFIA #
6	Falta de remaches y/o pernos	N° DE FALLAS			
		OBSERVACIONES			
7	Problemas de humedad, drenajes inadecuados	ELEMENTOS DEL ACCESO	Otros		FOTOGRAFÍA #
8	Fallas en barandas	N° DE FALLAS			
9	Pintura deteriorada	OBSERVACIONES			
CAUCE					
PROBLEMA	CUMPLE	PROBLEMA	CUMPLE	PROBLEMA	CUMPLE
Inestabilidad de taludes o terraplenes adyacentes a la estructura.		Socavación general del cauce.		Sedimentación de material transportado por la corriente.	
Erosión en el lecho márgenes del río.		Obstrucción del cauce por escombros, problema de vegetación o invasión del mismo.		Falla o colapso de las estructuras de protección de las orillas del río.	
OBSERVACIONES			FOTOGRAFÍA #		
PUENTE EN GENERAL					

Fuente. Los Autores

3. REALIZACIÓN DE INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE PUENTES PEATONALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 REALIZACIÓN DE LA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN

Una vez diseñó la ficha para la inspección y evaluación de los puentes peatonales de la localidad de Usaqué (véase el Anexo A), apoyados en el manual de inspección visual de puentes y pontones de INVIAS, y el manual de señalización vial de 2015 del ministerio de transporte, se planificaron las visitas de acuerdo a la localización de éstos, realizando la inspección a un total de 33 puentes, especificados por tipo de estructura (véase la Figura 8), aclarando que uno de los objetivos específicos era inspeccionar 37 puentes, pero en el momento de estar en campo se encontró que (3) tres de ellos eran box culvert que en su funcionalidad no prestaban servicio netamente peatonal, sino eran compartidos, con servicio vehicular, y que el cuarto puente faltante no existía, ya que se fue a realizar la inspección y no se encontró bajo esa dirección, teniendo un total de 33 puentes a trabajar (véase el Anexo B)

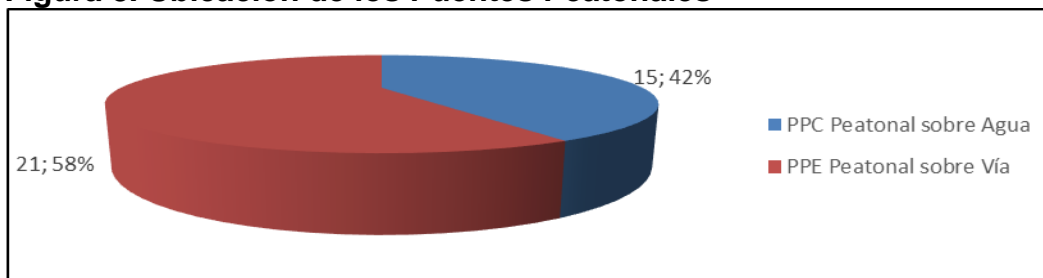
3.2 SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para realizar un profundo y análisis detallado, y preciso, se manejó la información en Microsoft Office Excel, haciendo recopilación de los datos, y manejo de fichas técnicas por cada uno de los puentes peatonales. Buscando manejar información detallada y precisa, y que fuera de fácil comprensión para el lector, se hizo la distribución de los daños en las patologías químicas, físicas y mecánicas como se muestra a continuación (véase los Anexos C, D, E, y F).

3.3 RESULTADOS OBTENIDOS

3.3.1 Ubicación y Tipo de Estructuras. De acuerdo con los resultados, el 58% de los puentes es decir 21, son estructuras construidas sobre vía, de los cuales 10 se encuentran ubicados sobre la autopista Norte, los demás se encuentra sobre vías secundarias, por otro lado, el 42% de los puentes o sea 15, se encuentran ubicados sobre agua (véase la Figura 8)

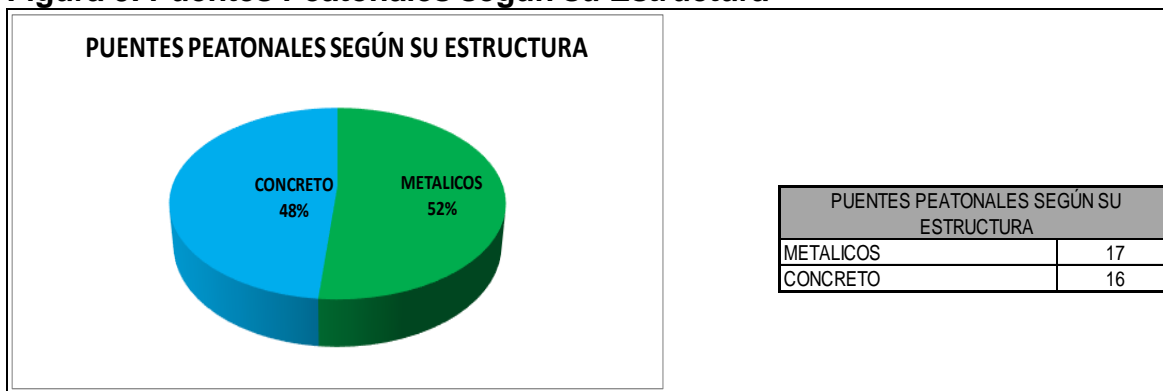
Figura 8. Ubicación de los Puentes Peatonales



Fuente. Los Autores

Por otro lado, de acuerdo con los resultados obtenidos, el 52% de los puentes peatonales inspeccionados en la localidad de Usaquén son estructuras metálicas, mientras que el 48% corresponden a estructuras en concreto (véase la Figura 8)

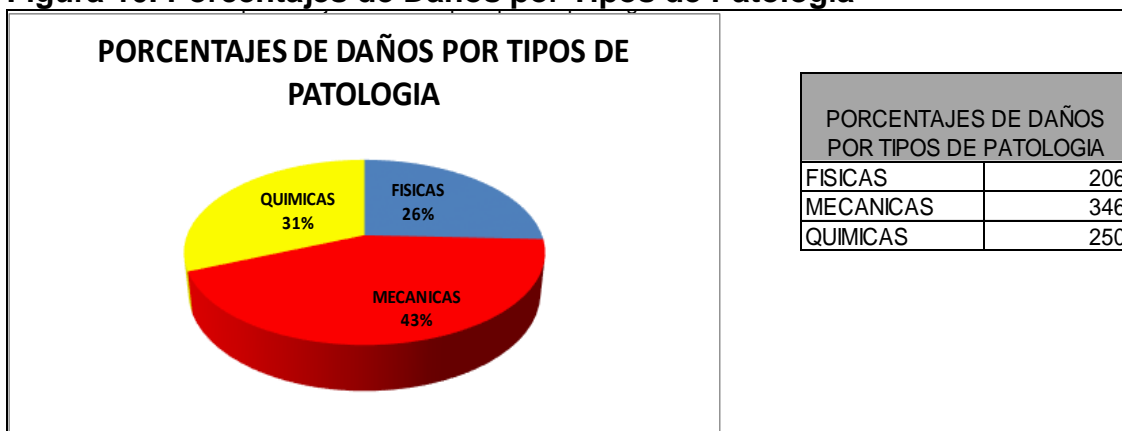
Figura 9. Puentes Peatonales según su Estructura



Fuente. Los Autores

3.3.2 Daños por Tipos de Patologías. Según los resultados obtenidos, se concluye que, las patologías Mecánicas son predominantes con un (43%) respecto de las otras dos patologías, en un segundo lugar se encuentran las patologías Químicas con un 31% y en un tercer lugar se encuentran las patologías físicas con un 26% (véase la Figura 9)

Figura 10. Porcentajes de Daños por Tipos de Patología



Fuente. Los Autores

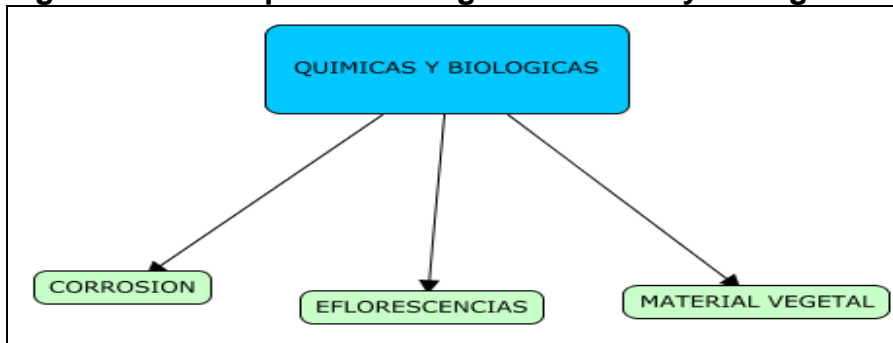
De acuerdo con la información respecto a las patologías se analizó con referencia al libro Patología de la construcción, del Arquitecto, Jorge E. Lozano P. la descripción de las patologías se encuentran en las Figuras 10, 11 y 12.

Figura 11. Descripción Patologías Mecánicas



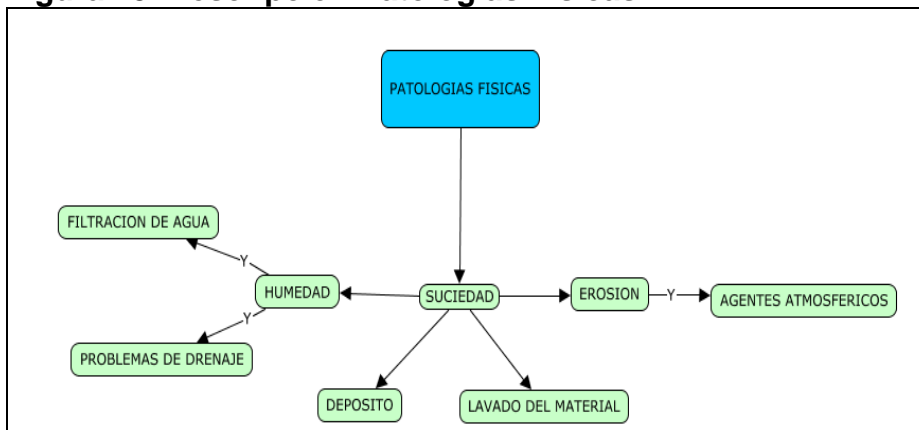
Fuente. Los Autores

Figura 12. Descripción Patologías Químicas y Biológicas



Fuente. Los Autores

Figura 13. Descripción Patologías Físicas

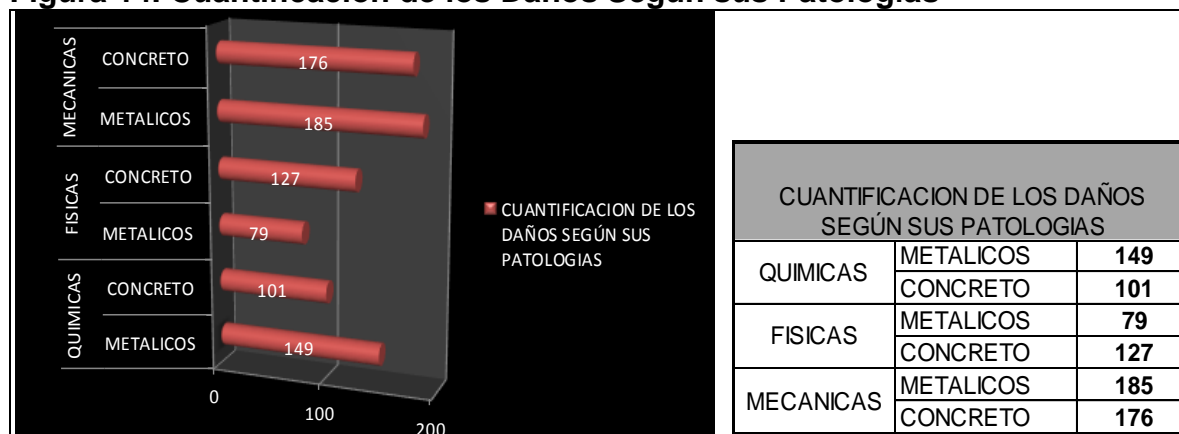


Fuente. Los Autores

Según los datos obtenidos en las fichas técnicas, se concluye en base a la Figura 9 distribución de porcentajes de daños por tipos de patología que, la más presentada es la mecánica con un total de 346 daños que representan el (43%) de las estructuras en evaluación. En segundo lugar, aparece las patologías químicas con 250 daños que representan el (31%) de las estructuras estudiadas. Cerrando el grupo se encuentran las patologías físicas con un total de 206 daños representando el (26%) de los puentes, en total 802 daños se encontraron en los puentes peatonales de concreto y metálicos.

De este modo se observa según la Figura 13, que la cuantificación de los daños según sus patologías, los puentes metálicos están mayormente deteriorados por patologías mecánicas, representando un total de 185 fallas, liderando la cuantificación de los daños según sus patologías. continuando con las conclusiones de los resultados, se aprecia un valor muy similar en las estructuras de concreto, con 176 fallas de las patologías mecánicas, y el de menor frecuencia son las 79 fallas en los puentes metálicos, de las patologías físicas.

Figura 14. Cuantificación de los Daños Según sus Patologías

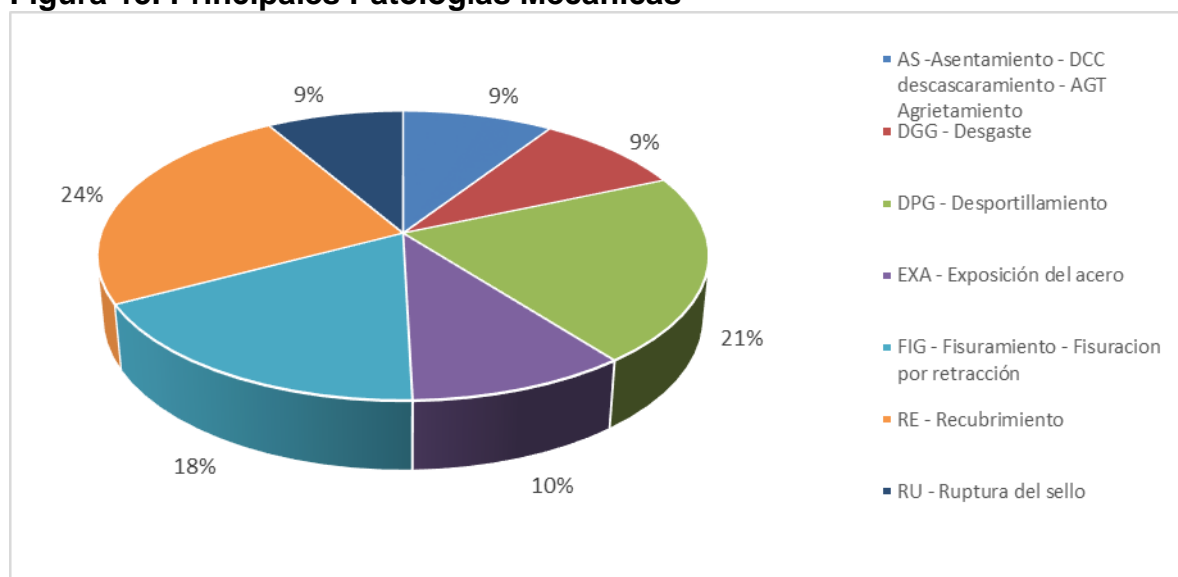


Fuente. Los Autores

Así mismo, según su estructura, se afirma que las patologías con mayor frecuencia son mecánicas presentando 185 daños en los puentes metálicos, que representan el 51% de los 33 puentes evaluados, y 176 daños por los puentes de estructura de concreto, que representan el 49 % de la totalidad de puentes inspeccionados, Además se observa que el porcentaje de patologías físicas según su estructura es el de menor presencia en los puentes peatonales, con 127 daños en los puentes de concreto, representando el 62% de los puentes inspeccionados, pero así mismo, las estructuras metálicas evidenciaron un total de 79 daños que equivalen al 38% de los (33) puentes evaluados.

3.3.2.1 Principales patologías mecánicas presentes en los puentes inspeccionados. De acuerdo con los resultados obtenidos, las patologías mecánicas que más afectan los puentes de la localidad son, en primer lugar la pérdida de recubrimiento tanto en estructuras metálicas como de concreto (24% de los puentes inspeccionados), siendo la superficie, los equipamientos y las escaleras, los elementos en donde más se observa esta patología, destacándose que el nivel del daño en la mayoría de las estructuras es superior al 40%; en segundo lugar se tiene el desportillamiento en juntas, andenes y bordillos, que se encuentra presente en el 21% de los puentes, siendo las juntas las que mayor nivel de daño tienen el cual es superior al 60%; mientras que en los andes el nivel es de 40% promedio; estas dos patologías son causadas principalmente por deficiencias en la construcción del puente y por el mal uso de los peatones. Cabe resaltar que el desportillamiento genera así mismo, la exposición del acero la cual se encuentra en el 10% de los puentes inspeccionados, y que en algunos de los casos ya se encuentra en estado de corrosión (véase la Figura 15).

Figura 15. Principales Patologías Mecánicas



Fuente. Los Autores

Por otro lado, en tercer lugar, se tienen el fisuramiento presente en el 18% de los puentes, estas fisuras se observan principalmente en las losas, juntas, vigas y riostras, generándose por esfuerzos de contracción y dilatación debido a los cambios térmicos, al proceso constructivo y su funcionamiento, su nivel de daño es superior al 40%, en algunos de los puentes llega hasta al 90%.

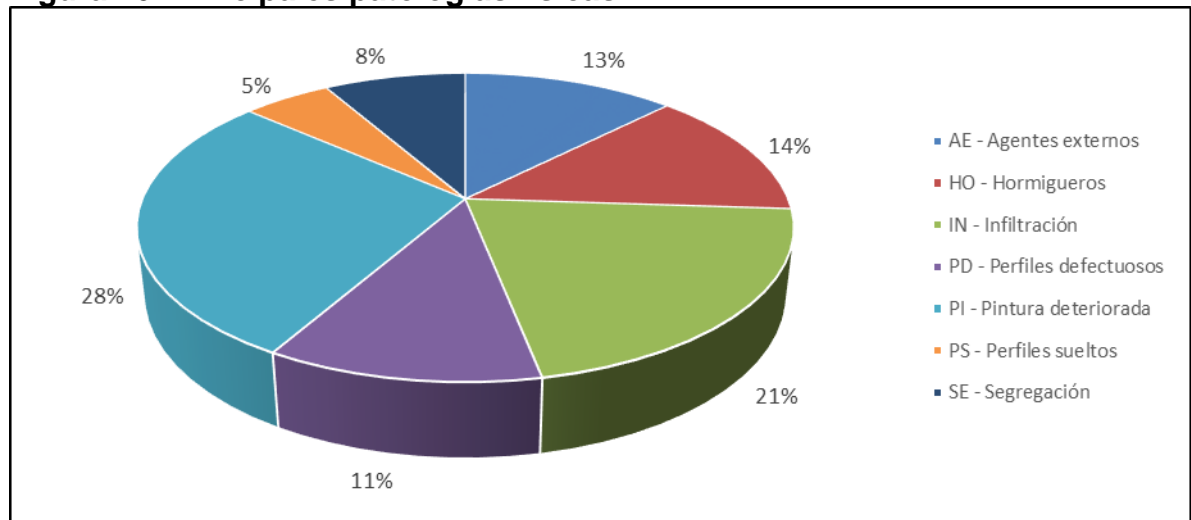
Finalmente, se observan que el 11% de los puentes tienen otras patologías como exposición del acero, asentamiento, agrietamiento y desgaste presentes principalmente en los accesos peatonales y que son provocadas por inestabilidad elástica o pandeo, hormigonado durante temperaturas ambiente extremas,

deslizamiento del terreno, fallas en las cimentaciones, temperaturas extremas.

3.3.2.2 Principales patologías físicas presentes en los puentes inspeccionados. Según las inspecciones realizadas, la principal patología física encontrada en el 28% de los puentes fue la ausencia o deterioro de la pintura, presente principalmente en la superestructura metálica de los mismos y en las barandas y que es ocasionada en su mayoría por la exposición a los agentes atmosféricos, así mismo su nivel de daño oscila entre el 50% y el 90%, por lo que se requiere una intervención inmediata, ya que esta patología provoca otra que se puede convertir en un problema mayor que es la corrosión.

Por otro lado, se tiene la infiltración en el 21% de los puentes principalmente en las estructuras de concreto, resaltándose que la infiltración se presenta principalmente porque en las juntas de construcción se evidencia deterioro del sello elastómero, permitiendo no solo la infiltración de agua sino sedimentación de materiales, así mismo, en los puentes que tienen superficie en adoquín la infiltración ha provocado que pierdan su posición inicial por la socavación que se genera en su suelo de soporte (véase la Figura 16).

Figura 16. Principales patologías físicas



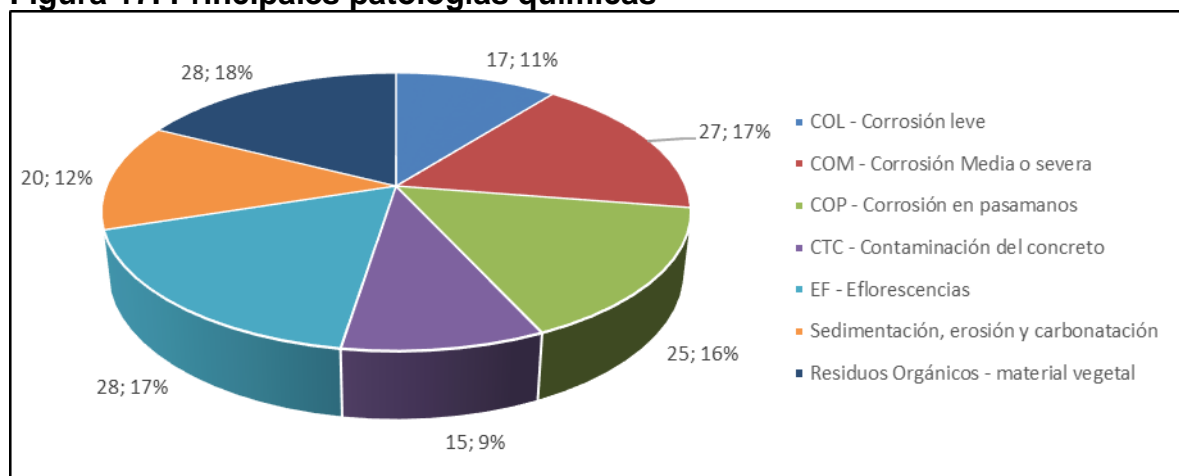
Fuente. Los Autores

Por otro lado, el 14% de los puentes tienen hormigueros en la superficie lateral de la losa y en los estribos elementos correspondientes a la subestructura, esta patología se presenta por alteraciones sufrida en los procesos constructivos, por la presencia de oquedades superficiales que quedan en el concreto endurecido, además por falta de vibrado, compactación excesiva o deficiente. Así mismo el 13% de las estructuras de los puentes tanto metálicos como de concreto de la localidad, se ve afectados por agentes externos relacionados con ataques químicos y orgánicos por mal uso de personas y presencia de animales, así como

por elementos atmosféricos, que en las estructuras de concreto principalmente, generan “compacidad y homogeneidad, las cuales son inversamente proporcionales a la porosidad y por ende van ocasionado la presencia de corrosión”⁴⁵. Finalmente, se tiene que el 8% de los puentes tienen daños por segregación principalmente en los accesos peatonales y las aletas y estribos, provocados durante los procesos constructivos, por la mala distribución de los componentes de la mezcla de concreto lo que provoca la separación y desplazamiento de los agregados.

3.3.2.3 Principales patologías químicas presentes en los puentes inspeccionados. De acuerdo con los resultados de las inspecciones realizadas, la eflorescencia y residuos orgánicos y material vegetal son las patologías químicas están presentes en 28 de los 33 puentes y representan el 17% y 18% de los daños en los mismos, estas patologías se observaron principalmente en la superficie y equipamientos, así como en andenes, bordillos, accesos peatonales; su nivel de daño oscila entre el 50% y el 70%; en este sentido, la eflorescencia es un daño que se presenta durante la etapa de funcionamiento de los puentes, como resultado de la precipitación y posterior cristalización de ciertas sales solubles en agua, que se depositan en superficies que han tenido humedad cuando ésta se seca y el líquido se evapora, en otras palabras, su aparición se da principalmente en los puentes que presentan altos niveles de humedad y como se mencionó anteriormente, la ausencia de drenaje en los puentes de la localidad de Usaquén es considerable por los taponamientos de los mismos; por otro lado, la presencia de residuos orgánicos y material vegetal, se da debido a la huella que ha dejado el agua por donde drena, así como por el mal uso de los peatonales al dejar residuos, se va proliferando con rapidez, y aún más cuando no se hace mantenimiento regularmente (véase la Figura 17)

Figura 17. Principales patologías químicas



Fuente. Los Autores

⁴⁵ MUÑOZ, Edgar E. Ingeniería de puentes. Tomo I. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2011. p. 72

Por otro lado, la corrosión tanto leve como media o severa, es una patología presente en 27 de los 33 puentes inspeccionados, principalmente en las superestructuras metálicas en cada uno de sus elementos, esto debido a la pintura deteriorada que como se ya se mencionó, es una afectación que tienen casi todos los puentes metálicos especialmente en los pasamanos, esto además ocasiona la acumulación de sedimentos por escorrentía; en cuanto a los puentes de concreto, la corrosión se presenta porque el acero disminuye su sección o se convierte completamente en óxido, por tanto el hormigón se fisura por la presión del óxido expansivo y la adherencia armadura-hormigón desaparece.

Adicionalmente, se observa sedimentación erosión y carbonatación en 20 de los 33 puentes; siendo la carbonatación uno de los problemas desencadenantes de la corrosión del acero, pues, aunque es un proceso químico aparentemente inofensivo, avanza lenta y progresivamente desde la superficie expuesta del concreto, encontrando dentro de la masa del mismo al acero de refuerzo generando la corrosión de éste. Cabe resaltar que estas patologías se presentan durante la etapa de funcionamiento de los puentes y debido principalmente a agentes externos y atmosféricos.

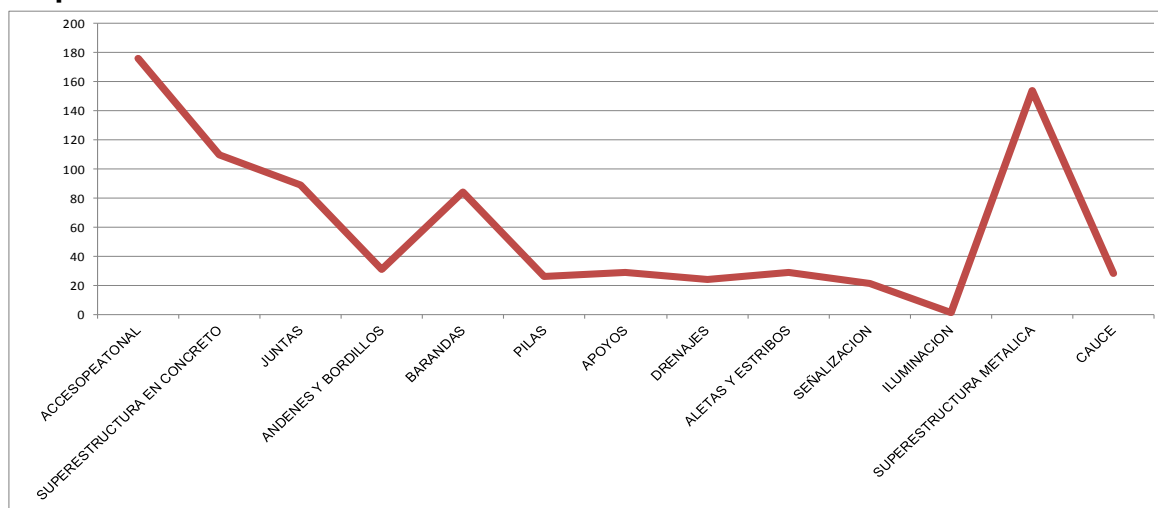
3.3.3 Distribución de daños por elementos de los puentes. Cada puente fue clasificado y subdividido en otro conjunto de datos, registrados e ilustrados en la Figura 14 categorización de daños totales por elementos que componen los puentes, encontrando así que los elementos con más fallas son los accesos con un total de 176 patologías, esto debido a múltiples causas, como malos usos de los usuarios, y actos vandálicos, en un segundo lugar se encuentra los daños en las superestructuras metálicas con un total de 154 patologías, pero se destaca el menor valor en este caso fue de la patología de iluminación, con tan solo (1) daño.

Cuadro 14. Categorización de Daños Totales por Elementos que Componen los puentes

ACCESO PEATONAL	SUPER ESTRUCTURA CONCRETO	JUNTAS	ANDENES Y BORDILLOS	BARANDAS	PILAS	APOYOS	DRENAJES	ALETAS Y ESTRIBOS	SEÑALIZACIÓN	ILUMINACIÓN	SUPER ESTRUCTURA METÁLICA	CAUCE
176	110	89	31	84	26	29	24	29	21	1	154	28

Fuente. Los Autores

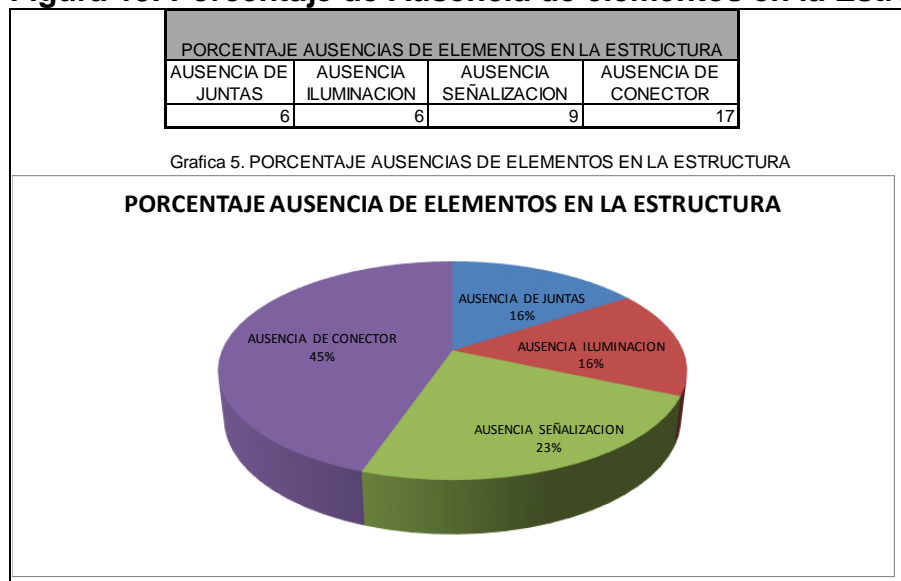
Figura 18. Categorización de Daños Totales por Elementos que Componen los puentes



Fuente. Los Autores

3.3.4 Ausencia de elementos en los puentes. En la Figura 19, se representa el porcentaje de ausencias de elementos en la estructura con respecto a los 33 puentes evaluados, destacando que la mayor ausencia la representa los conectores con un (45%), estos tienen que ver con la falta de remaches, tornillos o pernos en su mayoría; así mismo con un total de 9 puentes seguido de la ausencia de señalización con un (23%) en especial de los puentes de concreto. Se aclara que dichas tablas con sus respectivos gráficos, se realizaron partiendo de los (Anexos A, B y C).

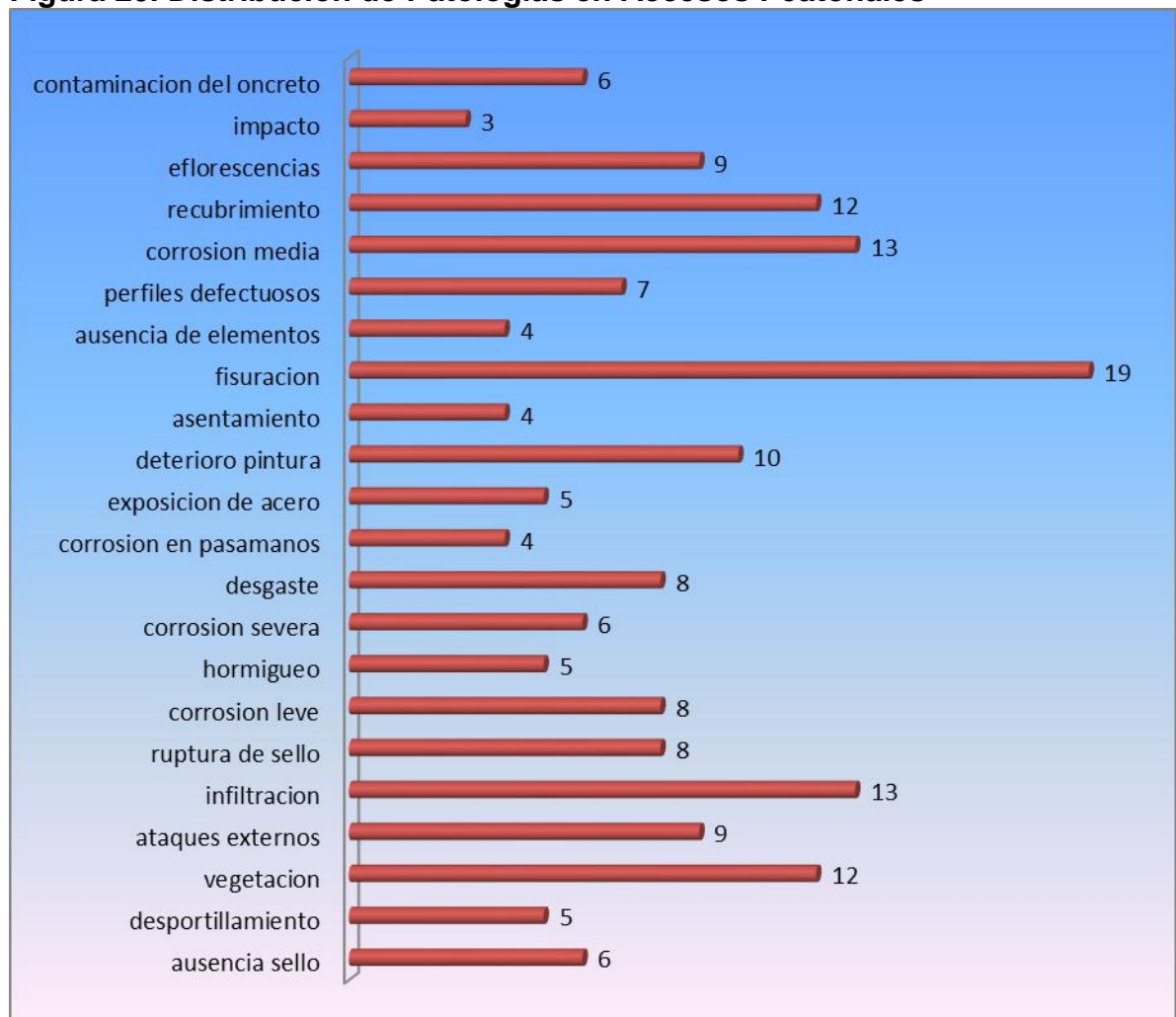
Figura 19. Porcentaje de Ausencia de elementos en la Estructura



Fuente. Los Autores

3.3.5 Elemento del puente con mayor número de patologías. Al analizar los elementos que más patologías presentan se encontró que son los accesos peatonales, como se puede observar en la Figura 20, al hacer la distribución de patologías se puede afirmar que la fisuración con una representación de 19 daños, es la patología que más se destaca, entre todas las patologías que afectan los accesos peatonales, aclarando que se realiza un detalle minucioso en los daños de los accesos peatonales porque fue la área de los elementos del puente que más presentaron patologías, con un total de ciento setenta y seis (176) daños (176), apreciando que en segundo lugar se encuentra una igualdad en las patologías, infiltración y corrosión media, con un total de 13 frecuencias cada una.

Figura 20. Distribución de Patologías en Accesos Peditonales



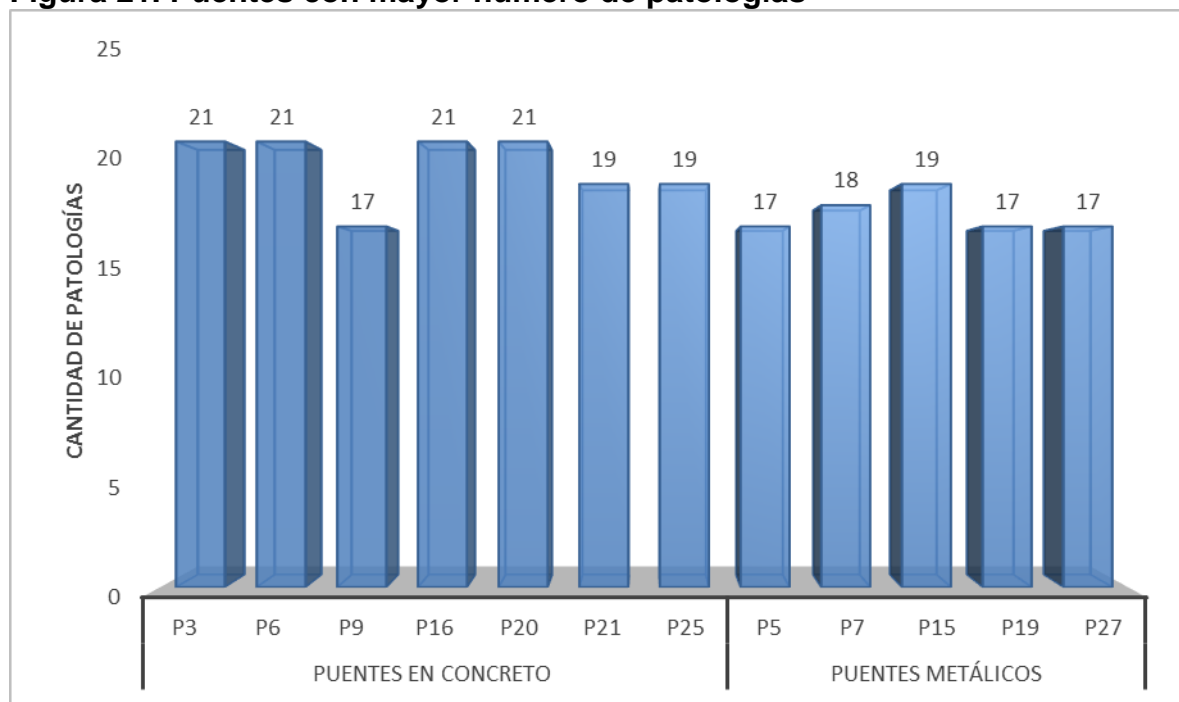
Fuente. Los Autores

Se puede decir que, este elemento es el que mayor número patologías presenta ya que, es el sitio en el que más se observa tránsito de personas, bicicletas y animales, por cuanto el desgaste de sus elementos constructivos es mayor,

debido a los ataques externos que como ya se mencionó, generan tanto patologías físicas, como mecánicas y químicas.

3.3.6 Identificación de puentes con mayor número de patologías. Al cuantificar el número de patologías presentes en cada puente, así como su nivel de daño, se ha podido determinar que 12 estructuras de las cuales 7 son de concreto y metálicas, son las que presentan mayores daños y por ende se podría decir que requieren de una pronta intervención, como se puede observar en la Figura 21.

Figura 21. Puentes con mayor número de patologías



Fuente. Los Autores

Adicionalmente, se destaca que son 4 puentes de concreto los que más patologías presentan con 21 de 38 evaluadas, uno de estos es el ubicado en la Av. Carrera 19 - Calle 112 que hace parte de una ciclorruta y el cual presenta como daños más representativos la carbonatación del concreto, producido previamente por eflorescencias, muy probablemente por infiltración de agua, aumentando la porosidad en el concreto de la losa y los andenes del puente, evidenciándose exposición del acero de refuerzo aunque aparentemente sin corrosión, pero que sin embargo, afecta considerablemente la funcionalidad del puente y la seguridad del peatón. Las juntas presentan desportillamiento, y fisuras en los guardacantos, además se aprecian los perfiles metálicos con corrosión. Así mismo, los estribos del puente estructuralmente presentan eflorescencia por infiltración de agua al tener taponamiento del sistema de drenaje en un 90%, estéticamente presenta acumulación de material vegetal, y grafitis, las barandas tiene un alto nivel de

corrosión se recomienda el mantenimiento para evitar fallas en la estabilidad del puente. Finalmente, la señalización no está actualizada y presenta gran deterioro esta vandalizada y tiene retrorreflexividad deficiente; la señalización horizontal se encuentra resquebrajada. Todos estos elementos hacen que este puente requiera de una intervención inmediata para evitar posibles accidentes que afecten al peatón.

Otro de los puentes que presenta un estado preocupante es el ubicado en Avenida Callejas por Avenida Laureano Gómez (costado norte), ya que el sendero peatonal y la losa presentan, erosión y lavado del concreto en más del 70% de su extensión, además de eflorescencia, en las juntas se observa falta de sello elastómero, colmatación por residuos, presencia de material orgánico, separación anormal de 5 cm a 8 cm, con asentamiento diferencial; presencia de exposición del acero de refuerzo y corrosión del mismo, figuración en el guardacantos, y corrosión en los perfiles metálicos. Por otro lado, el andén del puente tiene eflorescencia, exposición del acero de refuerzo con corrosión del mismo, desportillamientos y fisuras, finalmente tiene ausencia de barandas por corrosión y/o vandalismo. Todo lo anterior requiere de intervención inmediata pues la seguridad de los peatones se puede ver afectada en cualquier momento.

En cuanto a los puentes con estructura metálica, AV. Alberto Lleras Camargo (Ak 7) X Cl 182, las escaleras de acceso, están compuestas por concreto, adoquín y metal, en algunas de ellas, se evidencia desportillamiento, inducido por mal uso de los peatones. Las juntas evidencian ruptura del sello, ausencia de anclaje y perfiles defectuosos, permitiendo la sedimentación de materiales inorgánicos y la presencia de material vegetal, que puede ocasionar accidentes a los peatones, las barandas, funcionalmente están en buen estado, pero presentan deterioro y desgaste de la pintura; el sistema de drenaje funciona por bombeo, pero se evidencia en los extremos laterales de las láminas metálicas hongos o vegetación en crecimiento por falta de circulación del agua. Finalmente, en la super estructura se encuentra corrosión moderada en los diafragmas, corrosión leve y crecimiento de material vegetal en los elementos de la armadura en la rampa, eflorescencias causadas por problemas de humedad.

3.4 ANÁLISIS GENERAL DE RESULTADOS

Se ha realizado el estudio de 33 puentes peatonales, ubicados en la localidad de Usaquén, usando como referencia el manual de inspección visual de puentes y pontones, aclarando que se tenían como objetivo específico evaluar 37 puentes peatonales, pero en calidad de servicio cuatro (4) de ellos no fueron analizados, por razones previamente explicadas, en los análisis de resultados.

Una vez se estaba en campo se adjuntó toda la información necesaria, para proceder a analizar todos los datos, obtenidos en la inspección visual de los 33 puentes de la localidad de Usaquén, consignando dicha información en formatos

previamente diseñados, por los autores, con el fin de obtener las patologías que más afectan los puentes peatonales, y la frecuencia según su estructura, metálica y concreto, realizando sus correspondientes análisis, los cuales son:

Se encontraron 16 puentes con estructura de concreto, que representan un 48% de los 33 puentes evaluados, y 17 puentes de estructura metálica que representan el 52% del total de la muestra, de los cuales, las patologías de mayor presencia fueron las mecánicas, con un total de 346 daños equivalentes al 43 % de los 33 puentes inspeccionados, permitiendo concluir que los aspectos como desgastes de concreto, y fisuras transversales como fisuras longitudinales entre otros daños, son más frecuentes en dichas estructuras, afectando la durabilidad y la seguridad de las estructuras.

En cuanto a la categorización de daños totales por elementos que componen los puentes, se pudo deducir que la patología mecánica con mayor relevancia se presenta en la zona de los accesos de puentes peatonales, con un total de 176 daños, en la cual la fisuración con una iteración de 19 veces, es la de mayor presencia, esto debido a las continuas ausencias y falencias de las juntas de construcción, además de tener un gran influencia por la filtración de agua, causando corrosión en los elementos, según se observa en grafica 6, distribución de patologías en accesos peatonales.

Por otro lado, la superestructura metálica, presenta un total de 154 daños, de los cuales 88 son químicos (véase el Anexo C), estos son causados por la continua exposición a los agentes atmosféricos, como la lluvia, la cual viaja a través de las superficies, y contribuye al nacimiento de material vegetal, además de generar corrosión en los elementos conectores, y soldaduras del puente.

4. SUGERENCIA PARA ACCIONES DE INTERVENCIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES EN LOS PUENTES PEATONALES OBJETO DE ESTUDIO

De acuerdo con los resultados obtenidos en las inspecciones y evaluaciones de los puentes peatonales de la localidad de Usaqué y las patologías tanto físicas, químicas y mecánicas encontradas, a continuación, se sugieren las posibles acciones de intervención para su mejoramiento:

➤ Como posible solución de intervención para el mejoramiento de la patología de fisuración, se sugiere realizar la construcción de juntas de construcción equidistantes, que permitan el movimiento de contracción y dilatación del concreto, así de este modo se amortiguaran los esfuerzos producidos por los cambios térmicos, ayudando a la estructura a perdurar funcional y estéticamente, aclarando que, en algunas estructuras, en la zona de accesos se encuentran juntas selladas, pero que presentan ausencia y deterioro del sello elastómero, por ende se requiere sea reemplazado el sello, para impedir la filtración de agua y el depósito de sedimentos, y materiales no deseados que promueven el deterioro de la estructura.

➤ Dado que en segundo lugar se evidenció que se presentan patologías de corrosión e infiltración del agua en las zonas de accesos peatonales, se sugiere, realizar limpieza y recubrir con pintura anticorrosiva, que sirva como medio de protección para dichos elementos, además se puede aplicar una mezcla de pasta de cemento sobre los poros presentes en el concreto, como medio de protección contra la infiltración de la humedad.

➤ En cuanto a la reparación de fisuras, ésta, se puede realizar mediante la inyección de las grietas con material como resina epóxica, que tiene como objetivo extender la vida de servicio de la estructura, además de servir como sellante de las filtraciones e impermeabilizante, se usa para restaurar la integridad estructural y la capacidad de soportar cargas.

➤ Para los daños producidos por la falta o desgaste de recubrimiento y carbonatación, se deben realizar un picado, limpieza y saneado de la zona, para eliminar residuos de sales, suciedad y óxido y acero corroído, proteger la zona del medio ácido que ha generado la carbonatación, para lo cual se debe aplicar productos como pinturas que aumentan el PH en el entorno de la armadura, frenando la corrosión y protegiendo el acero ya limpio. Tratar con resinas de alta adherencia aplicadas sobre el hormigón seco, y finalmente aplicar mortero de reparación en la zona sin recubrimiento.

➤ Como se observó el deterioro de la pintura es una de las patologías que más afecta los puentes inspeccionados y que en muchos casos se están presentando corrosiones, la intervención debe ser en el mediano plazo, mediante la aplicación

de pinturas anticorrosivas.

➤ Para los puentes cuyas losas son de láminas y que presentan problemas de drenaje, es importante cambiarlas por laminas con orificios para mejorar el drenaje, evitando de este modo no solo que se siga posando el agua, sino que se presenten patologías químicas como corrosión, acumulación de material orgánico entre otros.

5. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de la investigación tanto en su componente teórico como práctico, se concluye que, haciendo uso de manual para la inspección visual de puentes y pontones, se pudo hacer una caracterización efectiva y detallada de las patologías existentes en los puentes peatonales de la localidad de Usaquén, logrando así representar mediante gráficas y análisis de las mismas, toda la información recolectada en el trabajo de campo, haciendo énfasis en los datos más relevantes y a partir de los cuales se pudo establecer los puentes que requieren una intervención prioritaria, además de las patologías que requieren rehabilitación en el corto y mediano plazo, con el fin de evitar que sigan avanzando y generando mayores afectaciones.

Así mismo, mediante la investigación se pudo determinar que los puentes peatonales tanto metálicos como de concreto, presentan una serie de patologías que afectan los diversos elementos que conforman sus estructuras, y que van evolucionando desde su diseño y construcción hasta su funcionamiento; así mismo se pudo determinar que varias de las patologías que generan deterioros y daños, son producto del ataque de agentes externos, de la exposición de agentes ambientales propios de las zonas en donde están funcionando, así como al mal uso y/o manejo por parte de los peatones, esto relacionado con actos vandálicos, arrojo de basura y sustancias que poco a poco inciden en la presencia de las patologías.

Adicionalmente, y de acuerdo con los resultados de las inspecciones, se puede concluir las principales causas por las cuales se pueden presentar las patologías y daños en las estructuras, se relacionan con la corrosión, desgastes y ausencia de recubrimientos en diferentes elementos de los puentes como jutas y superficies, además de taponamientos en los elementos de drenaje, todos estos que se convierten en causantes de nuevos daños, como por ejemplo la presencia de material vegetal, agentes orgánico, contaminación del concreto, entre otros.

Por otro lado, realizar investigaciones de este tipo se hace relevante no solo para el desarrollo de la profesión ingenieril, sino como medio para evidenciar en forma detallada las condiciones físicas de las estructuras de los puentes peatonales de la ciudad, localizando y caracterizando cada una de las patologías y el grado o nivel de daño que estas presentan, información que se hace relevante, pues con ésta se pueden establecer planes de intervención inmediatos que den solución a los problemas más representativos y que si no son solucionados pueden generar la inestabilidad de la estructuras, así convertirse en un peligro para la integridad de los usuarios, esto sin mencionar la generación de sobre costos por la no rehabilitación de las estructuras a tiempo.

Finalmente, cabe resaltar que los puentes peatonales de la localidad de Usaquén, se encuentran en condiciones muy regulares, esto gracias al número de patologías encontradas y comprobadas en las inspecciones, lo que muestra las deficiencias en los procesos de planificación, construcción y mantención de este tipo de estructuras, evidenciándose un descuido por parte de las entidades encargadas de su mantenimiento.

6. RECOMENDACIONES

Se sugiere, que tomando como punto de partida los resultados de la presente investigación, se inicie en el corto y mediano plazo, la intervención para la rehabilitación y mantenimiento, en primera instancia de los puentes de la localidad de Usaquén, que mayor número de daños y patologías presentan, para evitar el avance de su deterioro y el aumento en el nivel de riesgo para la misma estructura y para los peatones que hacen uso de las mismas.

Se requiere crear una reforma o ley, avalada ante las entidades regulatorias de las estructuras a nivel nacional, que ejecute un plan de mantenimiento periódico de las estructuras peatonales, ya que debido a su continua exposición a las condiciones atmosféricas, y cargas mecánicas, los puentes sufren un gran deterioro con el paso del tiempo, y una vez aplicado el estudio se evidencio que hay algunos puentes en muy malas condiciones, que dejan ver que están en mal estado desde hace ya mucho tiempo.

Es necesario tener sistematizado todas las direcciones y lugares de ubicación de los puentes de la ciudad, para que faciliten a las entidades interesadas en reparar las estructuras, y demás interesados, su localización sin contratiempos.

Si se desea prestar una mejor calidad de infraestructura que preste un buen servicio, seguro y estable, a los ciudadanos, se hace necesario tener bases de datos que informen el estado mensual, trimestral, semestral o anual, a las entidades gubernamentales, para llevar un estricto control de reparación, y de este modo se puedan evitar accidentes.

Por último, cuando se considere conocer a mayor profundidad el estado de fallas de un puente, se recomienda se realicen pruebas más específicas, como las pruebas de carbonatación, pruebas de esclerómetro, para definir con mayor precisión las patologías, se aclara que cualquier procedimiento que se piense realizar, se necesita contar con permisos de las entidades gubernamentales que regulan las estructuras.

BIBLIOGRAFÍA

ADNAN, Azlan; ALIH, Sophia and MIRASA, Karim. Bridge evaluation through nondestructive testing in comparison with visual inspection. In: 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference, 5-6 September 2006.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Decreto 279. (9 Septiembre, 2003). Por el cual se reglamentan los puentes peatonales en el Distrito Capital. Bogotá: La Alcaldía, 2003.

BADER, James. Nondestructive Testing and Evaluation of Steel Bridges [en línea]. Maryland: Federal Highway Administration's NDE Validation Center [citado 14 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://cee.umd.edu/~ccfu/ref717/BADER_NDE_of_Steel_Bridges.pdf>

BUJŇÁKA, J.; HLINKAA, R.; ODROBIŇÁKA, J. y VIČAN, J. Diagnostics and evaluation of footbridges. En: Procedia Engineering. Enero – marzo, 2012. no. 40.

BUSTAMANTE PEÑA, CARLOS Andrés y GONZÁLEZ MORALES, David Andrés. Evaluación, Diagnóstico Y Propuesta De Intervención Para La Patología Del Puente Román Ubicado En El Barrio Manga. Cartagena: Universidad de Cartagena. Facultad de Ingenierías. Modalidad trabajo de grado, 2014.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10. Bogotá: Asociación colombiana de ingeniería sísmica, 2010.

CONSTRUMATICA. Patologías Constructivas [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 19 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://www.construmatica.com/construpedia/Categor%C3%ADas:Patolog%C3%ADas_Constructivas>

CONTRERAS PÉREZ, Cindy Alejandra y REYES RAVELO, Erika de Jesús. Evaluación, diagnostico patológico y propuesta de intervención del puente Romero Aguirre. Cartagena: Universidad de Cartagena. Facultad de ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2014.

DIARIO EL NUEVO SIGLO. 30% de puentes peatonales de Bogotá en mal o regular estado [en línea]. Bogotá: El Diario [citado 14 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/07-2017-30-de-puentes-peatonales-de-bogota-en-mal-o-regular-estado>>

GUZMÁN VARGAS, Ana María y PADILLA ALDANA, Joana Mercedes. Patología de los puentes peatonales en la localidad de Teusaquillo. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2017.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Accesibilidad de las personas al medio físico. Espacios urbanos y rurales. Cruces peatonales a nivel, elevados o puentes peatonales y pasos subterráneo. Normas NTC 4774. Bogotá: ICONTEC, 2006.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU. Inventario de puentes. Bogotá: Dirección Técnica Estratégica, 2016.

------. Cartilla para el puente peatonal prototipo para Bogotá. Bogotá: Alcaldía Mayor, 2009.

------. Manual de mantenimiento e inspección rutinarios de los puentes peatonales prototipo. Bogotá: Alcaldía de Bogotá, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. 68 p.

LANDAETA, Henry. Generalidades de los puentes [en línea]. Bogotá: Slidershare [citado 18 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://es.slideshare.net/HenryLandaeta/unidad-i-introduccion-y-generalidades-67504365?from_action=save>

LÓPEZ RODRÍGUEZ, Hernán Alexis y SALAS GONZÁLEZ, David Leonardo. Evaluación e identificación de fallas estructurales en puentes peatonales en concreto armado, detectando las posibles causas y proponiendo acciones correctivas, en la localidad de Fontibón. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2016.

MASOUMI, F.; AKGÜL, F. y MEHRABZADEH, A. Condition Assessment of Reinforced Concrete Bridges by Combined Nondestructive Test Techniques. En: IACSIT International Journal of Engineering and Technology. December, 2013. vol. 5, no. 6.

MOLDOVAN, Ionut; FIGUEIREDO, Elói y BARATA MARQUES, Manuel. Condition Assessment of Bridges: Past, Present and Future. A Complementary Approach. Lisboa: Universidad Católica Editora, 2013.

MUÑOZ, Edgar y VALBUENA, Edgar. Evaluación del Estado de los Puentes de Acero de la Red Vial de Colombia. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería 2005

MUÑOZ, Edgar E. Ingeniería de puentes. Tomo I. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2011.

NATIONAL INSTITUTE FOR CERTIFICATION IN ENGINEERING TECHNOLOGIES. Bridge safety inspection. Fifth Edition. Alexandria VA: Transportation Engineering Technology, 2012.

OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Manual of Bridge Inspection. Ohio: Engineers Association of Ohio, 2012.

PARAGUAY. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES. Normas para estructuras y puentes. Asunción: Manual de Carreteras, 2014.

PEÑUELA BEJARANO, Elkin y SOSSA ESPITIA, Julio José. Patologías mecánicas presentes en los puentes vehiculares de la localidad de Fontibón. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2015.

PERSONERÍA DE BOGOTÁ. Puentes peatonales sin mantenimiento preventivo [en línea]. Bogotá: La Personería [citado 14 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.personeriabogota.gov.co/archivo-2013/item/274-puentes-peatonales-sin-mantenimiento-preventivo>>

PERÚ. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES REPÚBLICA DEL PERÚ. Guía para inspección de puentes. Lima: Dirección General De Caminos Y Ferrocarriles, 2006.

RODRÍGUEZ, Felipe de J García. Evaluación de Estructuras de Concreto. México: Heraclio, 2002.

RODRÍGUEZ, Soledad; VIVAS, Julio; VEGA, Abel y BAÑO, Vanesa. Metodología para la inspección, evaluación y diagnóstico mediante técnicas no destructivas del estado estructural de puentes de madera en España. En: Rehabend. Abril – mayo, 2014. Vol. 1, no, 4.

SALAZAR GUZMÁN, Tatiana. Inspección, evaluación y priorización de 8 puentes utilizando el Proceso Analítico Jerárquico. San José: Instituto Tecnológico De Costa Rica. Escuela de Ingeniería en Construcción. Modalidad trabajo de grado, 2012.

SERPA IRIARTE, María Fernanda y SAMPER PERTUZ, Lina Maria. Evaluación, diagnóstico, patología y propuesta de intervención del puente sobre el Caño el Zapatero a la entrada de la Escuela Naval Almirante Padilla. Cartagena: Universidad de Cartagena. Facultad de ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2014.

SONNENBERG, Andrew. Load capacity assessment of bridges [en línea]. Launceston:Small Bridges Conference [citado 22 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://www.pittsh.com.au/cms_uploads/docs/load-capacity-assessment-of-bridges.pdf>

TAKEUCHI, Caori. Conexiones en Estructuras Metálicas. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá. 2004

ZHAO, Jim; FASCE, P.E y TONIAS, Demetrios. Bridge Engineering. México: Mc Graw Hill, 2012.